

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572
GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F
PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW
PROGRESIÓN ASCENDENTE.

BARRERA MORALES JUAN CAMILO
COD. 201129270602
GIRALDO TAMAYO JUAN GABRIEL
COD. 201129261602
GONZALEZ SANCHEZ MIGUEL ANGEL
COD. 201129290602

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2015

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO
GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO
SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572
GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICION 3F
PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW
PROGRESIÓN ASCENDENTE.

BARRERA MORALESJUAN CAMILO
COD. 201129270602
GIRALDO TAMAYO JUAN GABRIEL
COD. 201129261602
GONZALEZ SANCHEZ MIGUEL ANGEL
COD. 201129290602

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ASESOR INGENIERO
HIVO ALFONSO PATARROYO PULIDO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2015

CONTENIDO

GLOSARIO	14
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	18
TÍTULO	19
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	19
ALCANCE	20
RESEÑA HISTÓRICA	21
JUSTIFICACIÓN	23
OBJETIVOS	24
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
DISEÑO METODOLÓGICO	25
MARCO REFERENCIAL	27
COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA DE SOLDADURA EN COLOMBIA EN COMPARACIÓN A AVANCES INTERNACIONALES	27
CRECIMIENTO DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA EN COLOMBIA	27
QUÉ ES EL CÓDIGO AWS D1.1 Y SU OBLIGATORIEDAD DE USO EN COLOMBIA	29
1 CAPÍTULO I	30
1.1 PROCESO DE SOLDADURA GMAW	30
1.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO GMAW	30
1.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	31
1.2.2 ANTORCHA	31
1.2.3 RODILLOS PROPULSORES	32
1.3 DISCONTINUIDADES COMÚNES EN UNIONES SOLDADAS	33
2 CAPÍTULO II	35
2.1 DISEÑO DE JUNTA	35
2.1.1 ASPECTOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE JUNTA	36
2.2 UNIÓN EN T CON SOLDADURA EN FILETE	37
2.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA EN FILETE CON JUNTA EN T	39
2.4 PERFIL DESEADO SEGÚN CÓDIGO AWS D1.1: 2010	40

3	CAPÍTULO III.....	42
3.1	METAL BASE ACERO ASTM A572 GRADO 50.....	42
3.2	PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DEL ACERO.....	43
4	CAPÍTULO IV	45
4.1	METAL DE APORTE (SOLDADURA)	45
4.1.1	METAL DE APORTE AWS ER 70S-6.....	45
4.1.2	METAL DE APORTE AWS E6010.....	48
4.1.3	METAL DE APORTE AWS E7018.....	49
5	CAPÍTULO V	51
5.1	GAS DE PROTECCIÓN	51
5.1.1	CO ₂	51
5.1.1.1	CARACTERÍSTICAS DEL CO ₂	52
6	CAPÍTULO VI	53
6.1	PRECALENTAMIENTO	53
6.1.1	DIAGRAMA DE GRAVILLE	53
6.2	TEMPERATURA ENTRE PASES.....	55
6.2.1	ECUACIÓN DE SEFFERIAN.....	55
7	CAPÍTULO VII	58
7.1	PARAMETRIZACIÓN DE EQUIPOS SMAW Y GMAW	58
8	CAPÍTULO VIII	60
8.1	SEGURIDAD EN SOLDADURA, CORTE Y PROCESOS ALIADOS ANSI / ASC Z49.1 – 94	60
8.2	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	61
8.2.1	CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	61
8.2.1.1	METODOLOGÍA PARA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	61
8.2.2	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERARIOS DE SOLDADURA 62	
8.2.2.1	METODOLOGÍA PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERARIOS DE SOLDADURA.....	62
9	CAPÍTULO IX	68
9.1	PRUEBAS	68
9.1.1	EVIDENCIAS DE PRUEBAS REALIZADAS	70
9.1.1.1	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).....	70

9.1.1.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS	71
9.2 PRUEBAS DE DUREZAS	72
9.3 PRUEBAS DE METALOGRAFÍA.....	75
10 CAPITULO X	79
10.1 FACTOR ECONÓMICO	79
11 CAPITULO XI	89
11.1 FACTOR AMBIENTAL.....	89
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA	94
CIBERGRAFÍA	96
ANEXOS	98

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Fuente de alimentación.....	31
Fotografía 2. Antorcha Sinérgica GMAW.....	32
Fotografía 3. Rodillos propulsores.....	32
Fotografía 4. Unión en T con soldadura en filete.	36
Fotografía 5. Análisis prueba de espectrometría.....	44
Fotografía 6. Proceso de soldadura GMAW.	45
Fotografía 7. Cilindro de Dióxido de Carbono CO ₂	51
Fotografía 8. Fotografía equipo Fronius TPS 320i utilizado en el proyecto, con gas de protección al 100% de CO ₂	52
Fotografía 9. a) Temperatura inicial, b) Temperatura pase raíz y c) Temperatura pase de presentación. (Proceso SMAW).....	57
Fotografía 10. a) Temperatura inicial, b) Temperatura pase raíz y c) Temperatura pase de presentación. (Proceso GMAW)	57
Fotografía 11. Evidencias del proceso de soldadura SMAW en posición 3F	58
Fotografía 12. Evidencias del proceso de soldadura GMAW en posición 3F.....	59
Fotografía 13. Elementos de protección personal.....	60
Fotografía 14. Control de temperatura entre pases.	70
Fotografía 15. Discontinuidades visibles.	70
Fotografía 16. Inspección visual: Inexistencia de concavidad.	70
Fotografía 17. Inspección visual: Inexistencia de porosidad y socavaciones.....	70
Fotografía 18. Prueba de metalografía.	71
Fotografía 19. Prueba de dureza.	71
Fotografía 20. Evidencia metalográfica.....	71
Fotografía 21. Prueba de micro dureza.	71

INDICE DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Partes de la boquilla de la antorcha del proceso GMAW	30
Ilustración 2. Diseño en unión en T con soldadura en filete	35
Ilustración 3. a) Perfiles de soldadura de filete juntas de esquinas interior, unión de traslape y juntas T; b) Perfil de soldadura de filete utilizada en el proyecto.	37
Ilustración 4. a) Superficie convexa, b) Superficie cóncava, c) Soldadura de lados desiguales.	37
Ilustración 5. Tensión en la cara de soldadura	38
Ilustración 6. Compresión en la cara e soldadura	39
Ilustración 7. Morfología soldadura en filete con junta en T	39
Ilustración 8. a) Soldadura de filete longitudinal, b) Soldadura de filete transversal	40
Ilustración 9. Perfiles deseado y aceptable en soldadura de filete juntas de esquinas interiores, unión de traslape y juntas T.	40
Ilustración 10. Acero ASTM A572 Grado 50	43
Ilustración 11. Alambre de soldadura ER70S-6.....	46

INDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Proyectos de estructuras metálicas en Colombia.....	22
Tabla 2. Discontinuidades más comunes en un proceso de soldadura GMAW	33
Tabla 3. Características físicas del diseño de junta.....	36
Tabla 4. Propiedades específicas mecánicas del acero ASTM A572 GR-50.....	42
Tabla 5. Características del material de aporte AWS ER70S-6.....	46
Tabla 6. Composición química del alambre de soldadura ER70S-6.....	47
Tabla 7. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura ER70S-6	47
Tabla 8. Composición química del alambre de soldadura AWS E6010	48
Tabla 9. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura AWS E6010	48
Tabla 10. Características del material de aporte AWS E6010	49
Tabla 11. Características del material de aporte AWS E7018	49
Tabla 12. Composición química del alambre de soldadura AWS E7018	50
Tabla 13. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura AWS E7018.....	50
Tabla 14. Tabla de temperaturas registradas en procesos de soldadura SMAW y GMAW	57
Tabla 15. Parámetros establecidos para el procedimiento de soldadura SMAW ...	58
Tabla 16. Parámetros establecidos para el procedimiento de soldadura GMAW...	59
Tabla 17. Discontinuidades que detectan los Ensayos No Destructivos.....	69
Tabla 18. Tabla porcentaje similitud SMAW - GMAW	72
Tabla 19. Eficiencia de Deposición.....	79
Tabla 20. Factor de Operación.....	80
Tabla 21. Tabla de variables implicadas en un proceso de soldadura	81
Tabla 22. Análisis Económico para el desarrollo de los procesos GMAW y SMAW en la ejecución del proyecto.....	84
Tabla 23. Análisis Económico del Proceso SMAW	84
Tabla 24. Análisis Económico del Proceso GMAW	85
Tabla 24. Comparación de porcentajes TIR.....	88
Tabla 25. Comparación de valores VPN.....	88
Tabla 26. Impacto ambiental y económico	90

INDICE DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Perfil Dureza probeta GMAW (Raíz – Presentación)	72
Gráfica 2. Perfil Dureza probeta SMAW (Raíz – Presentación).....	72
Gráfica 3. Dureza probeta GMAW Raíz.....	73
Gráfica 4. Dureza probeta SMAW Raíz	73
Gráfica 5. Dispersión de pase de Raíz.....	73
Gráfica 6. Dureza probeta GMAW Presentación.....	74
Gráfica 7. Dureza probeta SMAW Presentación	74
Gráfica 8. Dispersión de pase de Presentación	74
Gráfica 9. Porcentajes implicados en un proceso de soldadura	79

INDICE DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación de Graville para hallar Carbono equivalente	54
Ecuación 2. Solución a la ecuación de Graville para hallar Carbono equivalente ..	55
Ecuación 3. Ecuación de Sefferian	56
Ecuación 4. Solución a ecuación de Sefferian.....	56
Ecuación 5. Ecuación Área de Sección Transversal	81
Ecuación 6. Ecuación Peso de Metal Depositado.....	81
Ecuación 7. Ecuación Tasa de Deposito	82
Ecuación 8. Tiempo de Arco	82
Ecuación 9. Ecuación Costo Mano de Obra	82
Ecuación 10. Ecuación Costo del Electrodo	82

INDICE DE FORMATOS

	pág.
Formato 1. WPS proceso SMAW	64
Formato 2. PQR proceso SMAW	65
Formato 3. WPS proceso GMAW	66
Formato 4. PQR proceso GMAW	67

INDICE DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama esquemático del equipo GMAW.....	30
Diagrama 2. Diagrama de Graville.....	54
Diagrama 3. Análisis metalográfico soldadura SMAW	75
Diagrama 4. Análisis metalográfico soldadura GMAW.....	76
Diagrama 5. Análisis metalográfico en pase de raíz soldadura GMAW – SMAW ..	77
Diagrama 6. Análisis metalográfico en pase de raíz y presentación soldadura GMAW – SMAW	78

INDICE DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Prueba de espectrometría, metal base ASTM A572 grado 50.....	98
Anexo 2. Formato WPS proceso SMAW	99
Anexo 3. Formato PQR proceso SMAW.....	100
Anexo 4. Formato WPS proceso GMAW	101
Anexo 5. Formato PQR proceso GMAW	102
Anexo 6. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pases de (Presentación – Raíz).....	103
Anexo 7. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pase de (Raíz)	104
Anexo 8. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pase de (presentación) .	105
Anexo 9. Evidencia metalográfica proceso SMAW	106
Anexo 10. Evidencia metalográfica proceso GMAW	107
Anexo 11. Evidencia metalográfica proceso GMAW, panorámica (metal base, raíz)	108
Anexo 12. Evidencia metalográfica proceso SMAW, panorámica (raíz, presentación).....	108
Anexo 13. Evidencia metalográfica proceso GMAW, panorámica pase (presentación, raíz), evidencia de ferrita columnar	109
Anexo 14. Evidencia metalográfica proceso SMAW, interacción metal base, y pase de raíz.....	110
Anexo 15. Evidencia metalográfica proceso GMAW, panorámica (metal base, pase raíz, pase presentación).	111
Anexo 16. Evidencia metalográfica proceso SMAW, panorámica (metal base, pase raíz, pase presentación).	112

GLOSARIO

- **ACERO:** Aleación de hierro y carbono que en diferentes proporciones y según su tratamiento, adquiere especial elasticidad, dureza o resistencia.
- **ACERO ESTRUCTURAL:** Se define como el resultado que se obtiene al combinar hierro, carbono y pequeños porcentajes de otros elementos como son silicio, manganeso, cobre, azufre, fósforo entre otros el cual permite un conjunto de propiedades determinadas, utilizado comúnmente para la industria de la construcción.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials; Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.
- **AWS:** American Welding Society; Sociedad Americana de Soldadura.
- **CONCAVIDAD:** Característica de una curva hundida en su parte central.
- **CONVEXIDAD:** Característica de una curva sobresaliente en su parte central.
- **DISCONTINUIDAD:** Falta de continuidad, falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.
- **DUREZA:** Grado de resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro.
- **END:** Ensayos No Destructivos son pruebas practicadas a cualquier material el cual no altera de forma permanente sus propiedades físicas, químicas mecánicas o dimensionales.
- **EPP:** Elementos de Protección Personal.
- **ESTRUCTURA:** Conjunto de partes unidas entre sí que forman un cuerpo, una forma o un todo, destinadas a soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
- **FILETE:** Soldadura de una sección aproximadamente triangular, uniendo dos superficies que están relativamente en ángulo recto una de otra, en uniones sobrepuestas, en "T" o esquinas.

- GARGANTA: Es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.
- GMAW: Es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco, el proceso se realiza bajo la protección de un gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.
- MAG: Metal Active Gas; Metal Gas Activo
- MIG: Metal Inert Gas; Metal Gas Inerte
- OSHA: Occupational Safety and Health Administration; Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. Departamento que tiene como responsabilidad la protección de la seguridad y salud de los trabajadores.
- PQR: Procedure Qualification Record; Registro de Calificación del Procedimiento.
- SMAW: (Shield Metal Arc Welding) es un proceso de soldadura en el que se unen dos metales mediante fusión producida por un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico cubierto.
- SOLDADURA: Es un proceso de unión que produce la fusión granular del material por calentamiento a la temperatura de soldadura con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de relleno.
- TLV: Threshold Limit Value; Valor Límite Umbral. Utilizado comúnmente como valor para determinar la cantidad límite de contaminantes en el ambiente.
- TRASLAPE: Cubrir total o parcialmente algo con otra cosa.
- WPQ: Welder Performance Qualification; Procedimiento de Calificación de las Habilidades del Soldador.
- WPS: Welding Procedure Specification; Especificación del Procedimiento de Soldadura.
- ZAC: Zona Afectada por el Calor.

PALABRAS CLAVES

WPS, PQR, SMAW, GMAW, AWS, ZAC, Progresión Descendente, Estructuras Metálicas, Soldadura, Material Base, Material de Aporte.

RESUMEN

La presente investigación se realizó buscando el objetivo de mejorar el rendimiento de producción en estructuras metálicas, al igual que el factor económico en la industria tomado desde el punto de la soldadura; proponiendo la comparación entre un proceso GMAW en junta en T, posición 3F con progresión descendente contra el proceso tradicional SMAW con progresión ascendente en un acero ASTM A572 grado 50. La metodología empleada para el desarrollo del proyecto se basa en la comparación de las dos técnicas, una tradicional como lo es SMAW y una emergente para estructuras metálicas como lo es GMAW, aplicadas por un soldador calificado y con equipos de última generación.

Al establecer las condiciones de las probetas por medio del código AWS D1.1 se prosiguió a realizar las respectivas pruebas como lo son: micrografías, durezas, inspección visual, tamaño de junta entre otras. La comparación entre los dos procesos de soldadura evidencia la versatilidad del proceso GMAW en progresión descendente con características como lo son: el tiempo de aplicación, fusión entre materiales (base y aporte) y factores económicos, concluyendo así su utilidad debido a las excelentes propiedades mecánicas y su influencia a nivel ambiental.

KEYWORDS

WPS, PQR, SMAW, GMAW, AWS, ZAC, Progression Descending, Steel Structures, Welding Material Base, Material Contribution.

ABSTRACT

This research was performed looking to improve production performance in metal structures as economic factor in the industry taken from the point of welding; proposing a comparison between a GMAW process in T-joint, 3F position with downward progression from the traditional process SMAW with upward progression in ASTM A572 Grade 50 steel. The methodology for the project is based on the comparison of the two techniques as is traditional SMAW and a pop to metal structures as is GMAW, applied by a qualified and latest equipment welder.

To establish the conditions of the specimens by means of the AWS D1.1 code continued to perform the respective tests such as micrographs, visual inspection, hardness, size of Board among others. The comparison between two welding processes evidence the versatility of the GMAW process progression down with features such as the time of application, fusion between material (base and contribution) and factors economic, thus concluding its usefulness due to the excellent mechanical properties and their influence at the environmental level.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación hace referencia al estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 grado 50 con proceso GMAW en progresión descendente, Vs. el proceso SMAW en progresión ascendente, como medio para determinar parámetros de calificación de soldadores y base para aplicación a nivel industrial en estructuras metálicas.

Como finalidad de este trabajo, se busca analizar el comportamiento metalúrgico, propiedades mecánicas y factor económico de un proceso semiautomático GMAW en progresión descendente, en un acero estructural de alto rendimiento y de gran fluidez en el mercado como lo es el ASTM A572 grado 50, indicador que no es analizado en normas y códigos debido a que se ha considerado esta técnica como de baja calidad por su velocidad de aplicación y su poca penetración; caso contrario pasa con el proceso SMAW, que por sus propiedades mecánicas y visuales en el cordón de la soldadura es tomado por códigos y normas para calificación de soldadores.

Para estudiar la versatilidad del proceso semiautomático GMAW, es necesario analizarlo desde puntos económicos, facilidad de aplicación, velocidad de depósito y comportamiento metalúrgico, útiles para considerar el proceso como apto para manipular a nivel industrial. El interés de analizar el comportamiento metalúrgico entre los dos procesos, es de gran interés para empresas constructoras de estructuras soldadas y talleres que ensamblan secciones de estructuras metálicas, acciones que benefician el campo de la construcción y ensamblaje.

El marco teórico se realizó analizando puntos claves en una comparación entre procesos de soldadura tales como materiales de aporte, gases de protección, preparación de metal base para soldar, diseño de junta y comportamiento mecánico, temas esenciales para la estimación de costos y beneficios y a su vez para la implementación a niveles industriales. Durante el procedimiento se presentó como novedad la aplicación del proceso semiautomático GMAW con gas de protección 100% dióxido de carbono (CO₂), demostrando excelente calidad y buenas características de protección y no como convencionalmente se utiliza en el mercado, mezcla de Argón (Ar) y dióxido de carbono (CO₂).

TÍTULO

Estudio de la soldabilidad del acero estructural ASTM A572 grado 50 con proceso GMAW en junta en T, posición 3F progresión descendente, comparado con el proceso SMAW progresión ascendente.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la fabricación de estructuras metálicas soldadas conforme al código colombiano sismo resistente NSR 2010, se representan los procesos de soldadura con electrodo revestido en diseños de junta en T como el 98% de las uniones estructurales. Lamentablemente no existen estudios previos que califiquen los procedimientos con procesos de soldadura semiautomáticos, como lo son el GMAW en progresión descendente para uniones estructurales, determinando el grado de cumplimiento y requisitos en su comportamiento mecánico y metalúrgico, así como el ahorro en costos y tiempos de fabricación de las estructuras metálicas soldadas.

ALCANCE

Este proyecto pretende analizar el comportamiento mecánico y metalúrgico del proceso de soldadura GMAW en progresión descendente con junta en T, para la unión del acero ASTM A572 grado 50, tomando como criterio comparativo la aplicación del proceso de soldadura SMAW en progresión ascendente, en la misma configuración de junta.

Para el avance de este trabajo experimental, se desarrollará una secuencia de aplicaciones de soldadura en progresión descendente, y para la progresión ascendente un proceso manual, reflejando las características y ventajas que implica el uso de un proceso semiautomático como es el GMAW en la industria. Los criterios de aceptación y rechazo serán tomados del código AWS D1.1, el cual es referenciado como mandatorio en la NSR 2010 título F para la calificación de procedimientos de soldadura y soldadores (WPS, PQR y WPQ) en Colombia.

RESEÑA HISTÓRICA

Ancestralmente se emplearon métodos de adhesión para unir elementos como la madera y la piedra; sin embargo pasó mucho tiempo para que se descubriera cómo unir los metales; pero fue en la edad del bronce y el hierro donde se solucionó los problemas para formar y unir los metales. En los primeros métodos de unión de metales se incluyó procesos como el de formar un molde de arena sobre una pieza de metal y fundir la forma deseada directamente en el metal base, de manera que ambas partes se fundían juntas formando una única pieza.

La revolución industrial de 1750 a 1850 introdujo un método para unir piezas de hierro conocido como soldadura por forja; este proceso implicaba el uso de una forja para calentar el metal a una temperatura plástica maleable. Los extremos del hierro se colocaban entonces juntos y se martillaban hasta que se produjera la fusión. La soldadura por forja fue el principal método de soldadura hasta que en el año 1886 se desarrolló la técnica de soldadura por resistencia; esta técnica proporcionaba una manera más fiable y rápida para unir los metales que los métodos anteriores.

A medida que se fueron desarrollando las técnicas de soldadura, el remache fue sustituido por la soldadura de fusión para reparar los barcos a finales de la primera guerra mundial en Estados Unidos y en Europa. En esa época el proceso de soldadura se consideraba vital para la seguridad militar y desde entonces se ha desarrollado diferentes métodos de soldadura para unir metales.

El concepto básico de GMAW surgió en la década de 1920, pero apenas en 1948 estuvo disponible comercialmente; se consideraba como un proceso de electrodo de metal desnudo, de diámetro menor a 2 mm con alta densidad de corriente que empleaba un gas inerte para proteger el arco. La primera aplicación de este proceso fue en la soldadura de aluminio, por lo que se le nombró a este método con el término MIG (Metal Inert Gas). Entre los avances del proceso están las operaciones con bajas intensidades de corriente, con corriente continua a pulsos, y voltaje constante; esto generó la aplicación de este método a una amplia gama de materiales y el uso de gases y mezclas de gases activos, sobre todo CO₂. Este último avance condujo a la aceptación formal del término soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y por poseer gases activos también se le conoce como metal active gas (MAG).

Desde el siglo XIX y principios del siglo XX en Colombia se ha venido presentado una tendencia en trabajos industriales más específicamente en edificios. Las primeras estructuras metálicas en Bogotá fueron importadas de Alemania y Francia, al igual que las cubiertas metálicas en 1930 con la empresa Talleres de los Ferrocarriles de Chipichape, comprendieron que el futuro de la industria de la construcción se basaría en el uso del acero como materia prima. Ya en los años 50 el ahorro de peso por elaboración cambia al introducir a la manufactura el proceso de unión de soldadura reemplazando antiguos tipos de unión como lo fueron los

remaches y cubiertas pernadas. En el cambio de siglo, la percepción con respecto a las estructuras metálicas cambia; ya los edificios empiezan a tener características como luces mayores, pequeñas pendientes, ventilación integrada, haciéndolos bioclimatizados y de consumo ecológico (Verdes) interior y exterior, abarcando múltiples campos de la industria y a su vez la exigencia en calidad del proceso.

Proyectos pioneros como el de Farrington, el edificio UGI, el Hotel Andes Plaza en Bogotá, sede de la Cámara de Comercio en Bogotá, teatro Colon, el club los Lagartos Country Club, el Velódromo Luis Carlos Galán, Iserra 100 y el UJIL marcaron el inicio de una cultura en estructuras metálicas soldadas, generando múltiples proyectos a su vez en todo el país; desde entonces hasta ahora se han tomado factores como la búsqueda del rendimiento tanto en tiempo, materiales, recursos y demás, al mismo tiempo la minimización de riesgos como hechos primordiales en la construcción de estructuras metálicas soldadas. Actualmente se considera entre las obras el tiempo de ejecución como el factor más importante tanto para el inversor como para los clientes, debido a que involucra temas económicos y sociales, hecho que se puede visualizar en las recientes construcciones a nivel nacional.

Tabla 1. Proyectos de estructuras metálicas en Colombia

AÑO	PROYECTO	CIUDAD	CANTIDAD DE ACERO INVERTIDO (Kg)	TIEMPO DE EJECUCIÓN (meses)
2014	Bodega Hansacol	Bogotá	106.000	2
2014	Veronoi Sem	Bogotá	560	1
2014	Nuevo centro de distribución Acesco	Malambo	550.000	13
2013	Ampliación Aeropuerto el Dorado	Bogotá	1.192.000	7
2012	Terminal de carga existente TC-1 Aeropuerto el Dorado	Bogotá	600.000	7
2012	Bodegas Permoguín	Tocancipa	105.000	12
2011	Bodegas Ferretería la Española	Bogotá	380.000	9
2011	Parque cultural Débora Arango	Envigado	226.546	12
2011	Ruta N Edificio 2	Medellín	379.075	12
2010	Hospital San Vicente de Paul	Rionegro	342.526	13

(Fuente: Información realizada por los autores del proyecto)

JUSTIFICACIÓN

En Colombia se ha venido desarrollando proyectos donde las estructuras metálicas soldadas son la base del desarrollo de la infraestructura pública y privada; ejemplo de ello es la construcción del Centro Comercial Calima fabricada con 250.000 toneladas de acero soldado, en el que lamentablemente se emplean procesos de baja eficiencia como lo es el proceso de soldadura SMAW, a diferencia de procesos semiautomáticos como GMAW, los cuales pueden realizar uniones soldadas que cumplan con los requisitos del código y en menor tiempo de aplicación.

En los últimos años se ha venido generando una tendencia en la utilización de estructuras metálicas para refuerzo sísmico, construcción de bodegas y de edificios; como ejemplo de esta tendencia está el rascacielos BD Bacatá, la Bodega Hansacol ubicada en Funza, con una construcción de 90 toneladas de acero en la estructura y 16 toneladas de acero en la cubierta, el Voronoi Sem fachada de las oficinas de Sem Ingeniería, mediante un sistema tridimensional que mejora el desempeño energético de la edificación ubicado en Bogotá con el uso de 560 kg de acero, el nuevo centro de distribución Acesco diseñado bajo el concepto de innovación y optimización, donde se utilizó 400 toneladas de tubería de acero estructural y 150 toneladas de acero en la cubierta. Así mismo podemos mencionar otros proyectos no tan recientes como son: los puentes y estaciones del sistema masivo de transporte Transmilenio, el edificio “El Cubo” de Colsubsidio en Bogotá, el complejo acuático Simón Bolívar, la ampliación de Bulevar Niza en Bogotá, la estructura cubierta del terminal de transportes en Buga (Valle del Cauca), la ampliación del Hotel Hilton en Cartagena, y el Centro Comercial Ventura Plaza en Cúcuta entre muchas otras.

Este incremento se atribuye a que la construcción con acero brinda ventajas significativas como una alta resistencia con un menor peso de la estructura, lo que es fundamental en edificios altos y construcciones de grandes luces en general, al igual el proceso GMAW que en progresión descendente posee ventajas inherentes como su velocidad de depósito, la cual conlleva a un aumento del rendimiento y eficiencia del soldador, permitiendo así un producto que cumple con los requisitos del código NSR 2010 y del AWS D1.1.

Esta forma de construcción también brinda facilidad para unir los diversos elementos que la conforman, así como prefabricar las diferentes partes de la estructura metálica en talleres, lo que permite utilizar equipos especializados para su creación y el control de calidad de las mismas, antes de ser ubicadas en su posición final. Lo anterior deriva en la reducción del tiempo de instalación de la estructura de acero, áreas más limpias en la obra, disminución del impacto ambiental sobre el avance de la obra y mayores rendimientos financieros, puesto que la mano de obra calificada muestra mayor rendimiento y la estructura entra en funcionamiento más rápido.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento metalúrgico en la aplicación del proceso GMAW con progresión descendente, comparado con el proceso SMAW en progresión ascendente en el acero estructural ASTM 572 GR 50.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el diseño de junta a aplicar en la comparación del proceso SMAW y GMAW en progresión descendente.
- Comprobar por medio de análisis químico de espectrometría la composición del metal base.
- Seleccionar el metal de aporte para el proceso SMAW y para el proceso GMAW de la aplicación en Colombia.
- Elegir el gas de protección para el proceso GMAW de uso comercial en el país.
- Determinar la temperatura de precalentamiento y la temperatura entre pases a través de diagramas y ecuaciones.
- Parametrizar los equipos para la aplicación de soldadura, en el proceso SMAW y GMAW.
- Evaluar las propiedades mecánicas de las probetas por medio de pruebas bajo el código de soldadura estructural AWS D1.1/D1.1M: 2010.
- Analizar la microestructura de los cordones de soldadura, en una unión en T usando un acero ASTM A572 grado 50 mediante microscopía óptica.
- Comparar los resultados de la microestructura y las propiedades mecánicas de las juntas de un proceso de soldadura GMAW en progresión descendente con respecto a una progresión ascendente SMAW.
- Comparar los costos de los procesos SMAW Vs. GMAW

DISEÑO METODOLÓGICO

- **EVALUAR Y SELECCIONAR LA GEOMETRÍA DE LAS JUNTAS DEL MATERIAL A SOLDAR:**

Para el diseño junta de esta investigación se tomó como referencia, la junta parametrizada en el código AWS D1.1: 2010 figura 4.37, el cual estipula condiciones de medidas para ensayos de junta en T unión en filete, para cualquier material o proceso de soldadura.

- **DECLARAR LOS PARÁMETROS QUE EL EQUIPO DE SOLDADURA REQUIERE:**

En esta etapa se definirán las variables que permitan asegurar la compatibilidad entre material base y el equipo de soldadura, asegurando la calidad del producto acorde a las especificaciones del código de soldadura estructural AWS D1.1/D1.1M: 2010, entre las variables de soldadura se pueden identificar: voltaje, amperaje, alimentación, fuerza de arco, tiempo y velocidad de depósito entre otras, las cuales son registradas en el WPS.

- **PREPARACIÓN DE LA JUNTA:**

Después de comparar la composición química y teórica del material base, se debe trazar el material acorde a los parámetros (según AWS D1.1), luego se procede al corte que puede ser mecánico o térmico, por tanto, se debe: Preparar y limpiar los bordes, clave en el procedimiento de la soldadura, preparar los bordes de la pieza acorde al diseño y tipo de junta, además se debe retirar impurezas o contaminantes y todo aquello que impida que la soldadura tenga una buena penetración. Para el ensamble de junta en T, se debe tener en cuenta que esta debe estar alineada para que la unión sea uniforme, por lo que se recomienda que los bordes estén rectos y no existan espaciamientos entre las superficies de contacto.

- **DESARROLLO DE LA SOLDADURA:**

Se procede a realizar las aplicaciones al diseño de junta, bajo los procesos y parámetros de soldadura especificados en WPS preliminar (Welding Procedure Specification) y PQR preliminar (Procedure Qualification Record).

- **INSPECCIÓN VISUAL:**

La inspección visual (según AWS), es un método no destructivo de valioso control del proceso mediante el cual una soldadura desde su fase de preparación hasta su puesta en servicio, puede evaluarse de acuerdo con unos requerimientos aplicables

con miras de asegurar la calidad de la soldadura, esta evaluación se llevará a cabo por un inspector de soldadura calificado.

- **APLICACIÓN DE ENSAYOS REQUERIDOS:**

Una vez soldada la junta, se procede a evaluar el efecto de la técnica de soldadura y la compatibilidad de los metales base y metales de aporte.

- **ANALIZAR LA MICROESTRUCTURA DE LOS CORDONES DE SOLDADURA:**

Consiste en observar por medio de un microscopio la microestructura del cordón de soldadura, con el que se pueden evidenciar irregularidades, discontinuidades y cambios metalográficos que esté presente, también podemos observar:

- Precipitados.
- Mono cristales o Granos.
- Forma y dimensión de los granos.
- Fases.
- Orientación cristalina.

- **COMPARAR LOS RESULTADOS DE LA MICROESTRUCTURA Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS JUNTAS DE UN PROCESO DE SOLDADURA GMAW EN PROGRESIÓN DESCENDENTE CON RESPECTO A UNA PROGRESIÓN ASCENDENTE:**

Se realiza un proceso de soldadura SMAW en progresión ascendente, y se compara contra los resultados del proceso GMAW en progresión descendente, analizando variables como lo son: consumos, cambios en las propiedades mecánicas, velocidad de aplicación y ejecución, cualidades y beneficios en la industria.

MARCO REFERENCIAL

COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA DE SOLDADURA EN COLOMBIA EN COMPARACIÓN A AVANCES INTERNACIONALES

A finales del siglo XX e inicios del siglo XXI, Colombia ha venido de un consumo de acero para infraestructura de un puesto vagamente inferior al de muchos otros en Latinoamérica, a estar a la par de los países del primer mundo; los avances referentes a robótica, microelectrónica y software entre otras ramas han permitido que se creen campos de acción para mayores empleos y actividades de desarrollo para la inducción de nuevos especialistas.

Colombia maneja múltiples proyectos que han permitido una conexión entre lo que se quiere en talento humano y calidad de trabajo, esto ha provocado en técnicas de soldadura como lo es el GMAW una implementación de nuevas técnicas en el nuevo mundo, debido a sus aplicaciones y beneficios. Como tendencia en el mercado se presenta la creación de infraestructuras en forma de prefabricados en talleres empleando tecnologías semiautomáticas tipo GMAW, el manejo de este tipo de actividad demuestra el desarrollo y visión que este sector de infraestructuras está tomando.

El proceso de soldadura GMAW es una de las denominaciones más usadas en Europa, México y Argentina; sin embargo en Estados Unidos el proceso de soldadura más usado es el GTAW proveniente de “Gas Tungsten Arc Welding”. Las industrias que mayormente aprovechan este tipo de proceso de soldadura son la automotriz y la aeroespacial, sin embargo en el campo de la construcción de estructuras soldadas los procesos de soldadura como es el SMAW y GMAW son igualmente utilizadas pero con mayor utilidad en fabricación de partes ensambladas en taller para previamente ser instaladas en campo y allí ser unidas a través de dos métodos: soldado con proceso SMAW o atornillado.

CRECIMIENTO DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA EN COLOMBIA

La industria metalmecánica en Colombia, ha presentado en el último año un crecimiento importante que hasta el mes de Mayo de 2014 era de 3.5%, este crecimiento económico se da en el interior del país proveniente de avances y proyectos que se están presentando.

La construcción civil en acero, crece en el mundo presentado un comportamiento favorable superando mercados importantes como el de Perú, México, España, Alemania entre otros. Este crecimiento aporta al país factores notables como la actualización de los equipos y maquinarias de producción; el mejor ejemplo es la construcción del rascacielos como el BD Bacatá con la participación de empresas e ingenieros colombianos.

Actualmente el sector de la construcción civil genera el 15% de todos los empleos industriales del país, con un promedio de 90.000 empleos directos y aproximadamente el triple de manera indirecta, los tratados de libre comercio han abierto puertas a los mercados internacionales del sector metalmecánico y en el área de la soldadura, esto gracias al apoyo recibido por parte de las instituciones al empresario nacional.

QUÉ ES EL CÓDIGO AWS D1.1 Y SU OBLIGATORIEDAD DE USO EN COLOMBIA

El código AWS D1.1 es un código que contiene los requisitos necesarios para fabricar estructuras soldadas en acero, contempla fases como: requerimientos generales, diseños de conexiones soldadas, precalificación de (WPS), calificación (soldadores, operadores de soldadura y apuntadores), fabricación, inspecciones, soldaduras de espárragos, refuerzos y reparación de estructuras existentes.

El código AWS D1.1 ha sido desarrollado en Estados Unidos específicamente para estructuras de acero soldadas que utilicen como característica aceros al carbono o de baja aleación de espesor mayor de 1/4 de pulgada (6 mm), con una resistencia de fluencia mínima especificada de 100 Ksi (690 MPa) o menor.

El uso del código AWS D1.1 en Colombia como documento mandatorio de fabricación para la inspección, parametrización y regulación están determinadas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el cual estipula en varios de sus párrafos el uso obligatorio del código AWS D1.1 como fuente para requisitos en procedimientos de fabricación y diseños estructurales. Dos de los párrafos que se podrían tomar como soporte a la obligación del uso del código AWS D1.1 en Colombia son el F.2.10.2 y el F.2.13.2.4 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 los cuales mencionan lo siguiente:

“F.2.10.2: Soldaduras – Se deben cumplir todas las provisiones del Código de Soldadura Estructural de la Sociedad Americana de Soldadura. AWS D1.1, excepto que se aplicaran los siguientes requisitos del Capítulo F2 en lugar de las secciones del código AWS correspondientes.”

“F.2.13.2.4: Construcción Soldada – La técnica de soldadura, la ejecución, el aspecto y la calidad de la soldadura, así como los métodos a usarse en la corrección de los trabajos no conforme estarán de acuerdo con el código AWS D1.1 excepto según las modificaciones anotadas en el numeral F.2.10.2”

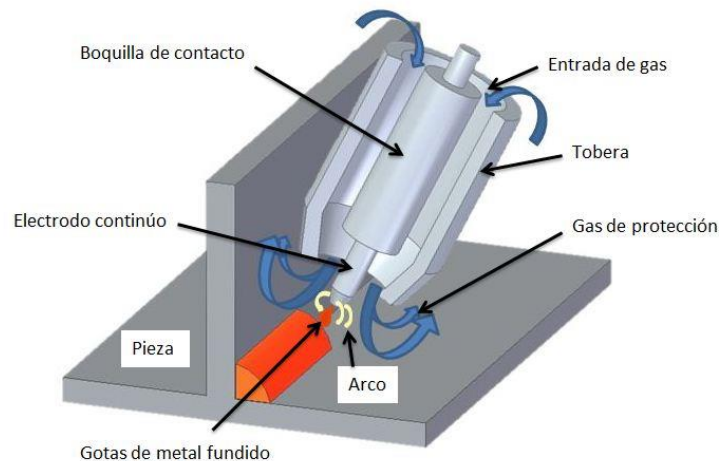
1 CAPÍTULO I

1.1 PROCESO DE SOLDADURA GMAW

El proceso GMAW por sus siglas en inglés: Gas Metal Arc Welding, consiste en unir dos o más piezas de acero, mediante la fusión por el calor generado por un arco eléctrico protegido del ambiente con un escudo de gas.

Dentro de este proceso de soldadura existen dos variantes, uno con gas inerte también conocido como MIG y otro con gas activo llamado MAG, los gases que se pueden encontrar en la aplicación MIG pueden ser (Ar) argón, (He) helio y en la variante MAG en mezcla de argón más helio y dióxido de carbono; estos gases utilizados en los procesos de soldadura, son determinados bajo especificaciones de los procedimientos (WPS) para obtener una aplicación conforme al código AWS.

Ilustración 1. Partes de la boquilla de la antorcha del proceso GMAW



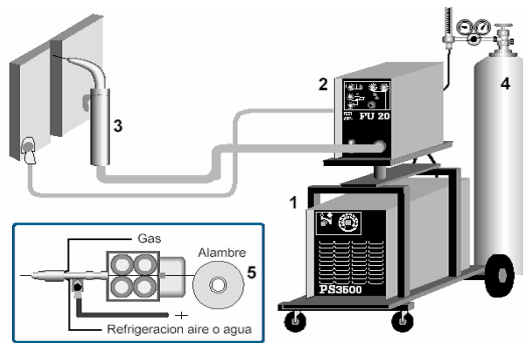
Fuente: Ilustración realizada en el Software Solid Edge ST5, suministrada por los autores del proyecto

1.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO GMAW

El proceso GMAW requiere del siguiente equipo:

1. Fuente de poder para soldadura.
2. Alimentador que controla el avance del alambre a la velocidad requerida
3. Antorcha de soldar para dirigir directamente el alambre al área de soldadura.
4. Gas protector, para evitar la contaminación del baño de soldadura.
5. Carrete de alambre de tipo y diámetro especificado por la AWS.

Diagrama 1. Diagrama esquemático del equipo GMAW



Fuente: (Procesos de Manufactura, Unidad 4, s.f.)¹

1.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación, tiene un transformador y un rectificador que produce una corriente continua (CC) de soldadura entre 40 y 600 amperios y entre 10 y 40 voltios, dependiendo de la máquina; la corriente continua de electrodo positivo (CCEP) se utiliza exclusivamente para todos los trabajos con GMAW.

Debido a los largos periodos de uso continuo, las fuentes de soldadura GMAW tienen un diseño NEMA (National Electrical Manufacturing Asociation) de trabajo del 100%, el cual permite el uso continuo.

Fotografía 1. Fuente de alimentación.



Fuente: Equipo Fronius TPS 320i utilizado por los autores del proyecto para el desarrollo de la aplicación del proceso GMAW en progresión descendente, en la empresa Sager - Fronius de Colombia.

1.2.2 ANTORCHA

¹ *Procesos de Manufactura, Unidad 4.* (s.f.). Obtenido de Ensamble por Soldadura: <http://procesosmanufacturau4.weebly.com/ensamble-por-soldadura.html>

Consta de un gatillo que está unido al cuerpo o fuente de alimentación en la mayoría de las antorchas, cuando se obtura el gatillo se cierra un circuito eléctrico energizando el circuito, activando el rodillo conductor permitiendo el flujo del alambre electrodo hacia la boquilla. El gatillo de la pistola GMAW, es un interruptor que proporciona potencia a la pistola permitiendo colocar el alambre donde se desee sin comenzar el arco, es decir mientras no se active el gatillo el arco no se establece.

Fotografía 2. Antorcha Sinérgica GMAW



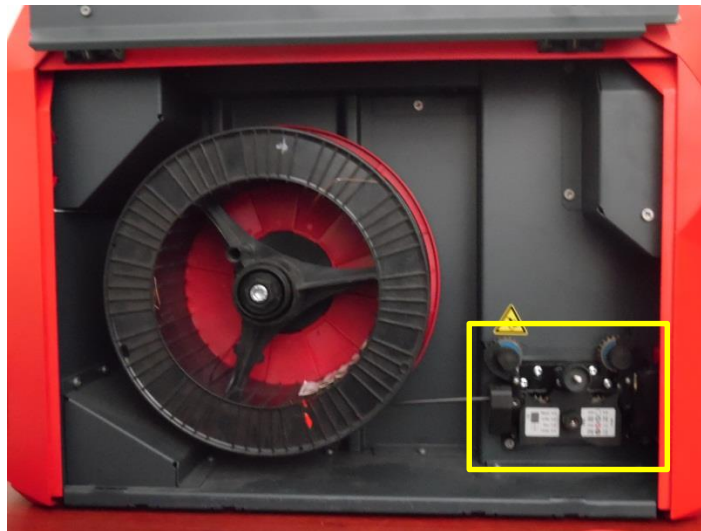
Fuente: Antorcha Fronius TPS 320i suministrada por la empresa Sager – Fronius de Colombia para el desarrollo de la aplicación del proceso GMAW con progresión descendente, utilizada por los autores del proyecto.

El tubo del conductor aislado, a veces denominado cuello de pistola, está unido al cuerpo de la misma; el forro del conducto es un tubo hueco flexible que se coloca a lo largo del cuerpo y en el tubo conductor de la pistola que permite que el alambre haga el recorrido desde la unidad de alimentación hasta el área de baño de fusión. El tubo o línea estará conectado con corriente cuando se pulsa el gatillo, el difusor de gas permite al gas protector dispersarse por la boquilla envolviendo completamente el área de soldadura para conseguir un escudo gaseoso que protege al arco y el charco del metal de aporte.

1.2.3 RODILLOS PROPULSORES

Son conjuntos de dos o cuatro rodillos disponibles en distintas configuraciones como rodillos con ranura en forma de U lisa, con ranura en forma de V y estriada. Algunos rodillos se diseñan para utilizarlos con un único diámetro de hilo mientras que otros son reversibles y permiten diferentes diámetros; otros se pueden ajustar a diferentes tamaños de hilo insertando un espaciador para aumentar o disminuir la apertura entre los rodillos dependiendo de los diferentes tamaños de alambre.

Fotografía 3. Rodillos propulsores



Fuente: Rodillos propulsores de la fuente de alimentación Fronius TPS 320i suministrada por la empresa Sager – Fronius de Colombia para el desarrollo de la aplicación del proceso GMAW con progresión descendente, utilizada por los autores del proyecto.

1.3 DISCONTINUIDADES COMÚNES EN UNIONES SOLDADAS

El proceso de soldadura GMAW como proceso semiautomático posee un factor de riesgo el cual consiste en localizar las discontinuidades, por lo cual es primordial conocer cuáles son las discontinuidades más frecuentes en la realización de este proceso y de las que se especifican a continuación:

Tabla 2. Discontinuidades más comunes en un proceso de soldadura GMAW

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

DEFECTOS DE LA SOLDADURA	CAUSA	SOLUCIONES
No enciende el arco	Falso contacto en la tierra	Ajustar la pinza de tierra al metal base
Arco errático	Baja tensión de voltaje	Ajustar parámetros de voltaje
Soldadura Irregular	Mala alimentación de alambre	Falta o existe demasiada presión en los rodillos de impulsión, rodillos equivocados, tubo de contacto incorrecto, alambre ondulado
Deformaciones	Calentamiento excesivo	Reducir amperaje o aumentar velocidad de aplicación
Desviación de arco	Tubo de contacto de diámetro mayor	Colocar el tubo de contacto de la medida del alambre
Soplo de arco	Campos magnéticos desvían el arco	Ajustar la tierra adecuadamente
Salpique excesivo	Amperaje demasiado elevado, material de aporte defectuoso	Reducir el amperaje, cambiar el material
Cráteres	Salida del charco de soldadura muy rápido	Salida en contra flujo del cordón
Poros	Velocidad de avance alta, gas protector húmedo	Aumentar flujo de gas de protección, cambiar el cilindro de gas
Grietas	Material de aporte inadecuado	Seleccionar el material de aporte correcto
Penetración deficiente	Amperaje bajo, polaridad incorrecta	Aumentar el amperaje, seleccionar polaridad correcta
Raíz defectuosa	Preparación inadecuada, pieza de espesor sin preparación	Corregir la preparación, hacer preparación a la pieza
Perforaciones	Separación de junta muy abierta, amperaje elevado	Corregir preparación de la pieza, reducir el amperaje

Fuente: Información realizada por los autores del proyecto

2 CAPÍTULO II

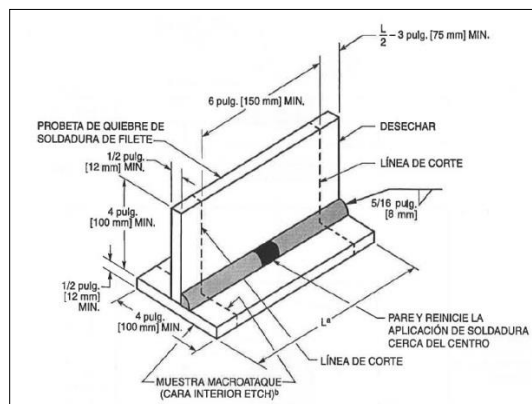
2.1 DISEÑO DE JUNTA

Para determinar el diseño de junta apropiado en la fabricación de una estructura metálica se debe considerar las cargas a las que estará sometido; para el desarrollo de este proyecto se observaron los diferentes diseños de junta, encontrándose que el más apropiado para la fabricación de estructuras metálicas es el diseño con unión en T y junta en filete, debido a que la unión en T soporta grandes cargas a tensión y compresión y su junta en filete está diseñada para trabajar a cortante.

Como evidencia de estas características, se encuentra que el 98% de las estructuras metálicas tienen este mismo diseño de junta, presentando como característica importante la existencia de todos los tipos de posiciones en la aplicación de soldadura.

Considerando el diseño de junta, se desarrollan las probetas bajo el código AWS D1.1: 2010 y como fuente de parametrización se tomó la figura 4.37 del código ilustrada en la siguiente imagen:

Ilustración 2. Diseño en unión en T con soldadura en filete



Fuente: (Código de Soldadura Estructural, AWS D1.1/D1.1 M, 2010)²

Tomando las consideraciones del código AWS D1.1: 2010 se diseña la junta con unión en T en las mínimas condiciones de medidas que esta permite, proceso que se repite tanto para el proceso de soldadura SMAW como para el proceso de soldadura GMAW.

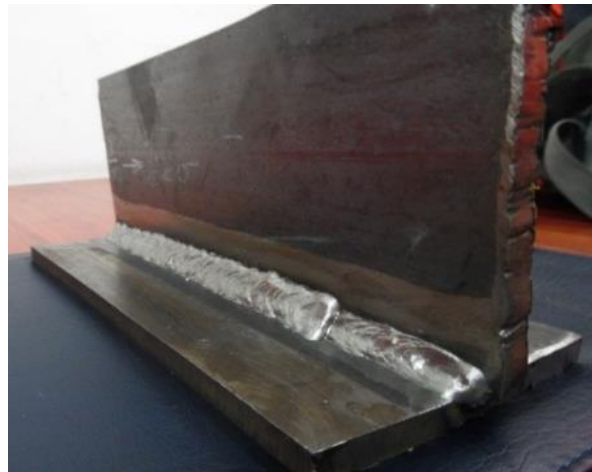
² Código de Soldadura Estructural, AWS D1.1/D1.1 M. (2010). En A. W. Society, *Figura 4.37: Quiebre de soldadura de filete y ensayo de placa macro-ataque, calificación de soldador u operador de soldaduras* (22 ed.). American Welding Society.

2.1.1 ASPECTOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE JUNTA

Relacionando dos aspectos básicos como lo son su aspecto mecánico y sus condiciones de operación, se puede establecer que el diseño de junta utilizado es aplicable a varios campos y situaciones de trabajo. En su aspecto mecánico se considera los esfuerzos al que este será sometido debido a que su área resiste esfuerzos que trabajan en cortante, derivado de multiplicar la garganta con la longitud del filete, resultando con esto la consideración de aspectos importantes como lo es la optimización estructural la cual permite diseños económicos aplicando la mínima cantidad de material de aporte, que al final a nivel industrial influye en un ahorro en la economía del proyecto.

En el aspecto de operación, se contempla la funcionalidad y versatilidad de la unión en T con junta en filete a niveles de proyectos estructurales como una de las más funcionales, debido a características como los son: facilidad de operación en cualquier posición, diseño de estructuras metálicas con vigas en H, en lámina o en T y eficiencia al tratar el material desde un punto inicial sin existir la necesidad de una gran preparación del material.

Fotografía 4. Unión en T con soldadura en filete.



Fuente: Fotografía suministrada por los autores del proyecto

Partiendo de las especificaciones y condiciones básicas del diseño de junta se diseña la probeta con las siguientes características:

Tabla 3. Características físicas del diseño de junta.

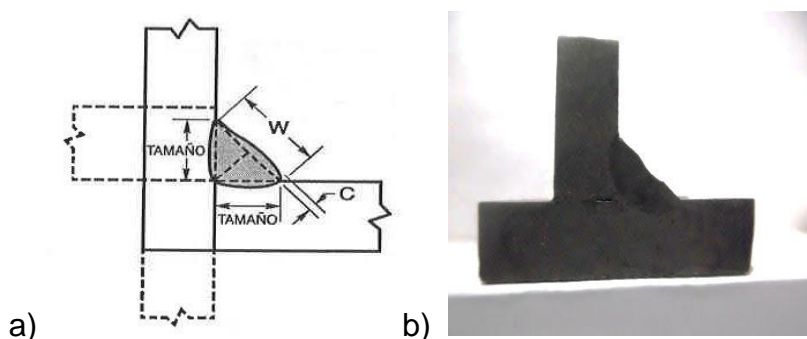
Características	Dimensiones
Espesor material base	9 mm
Longitud de la pieza	200 mm
Alto de la pieza	100 mm

Tipo de unión	T
Tipo de junta	Filete

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

El diseño de junta en T, soldadura en filete debe poseer las características físicas especificadas en el código AWS D1.1, con el fin de garantizar la calidad de la soldadura y las propiedades mecánicas de una buena penetración.

Ilustración 3. a) Perfiles de soldadura de filete juntas de esquinas interior, unión de traslape y juntas T; b) Perfil de soldadura de filete utilizada en el proyecto.



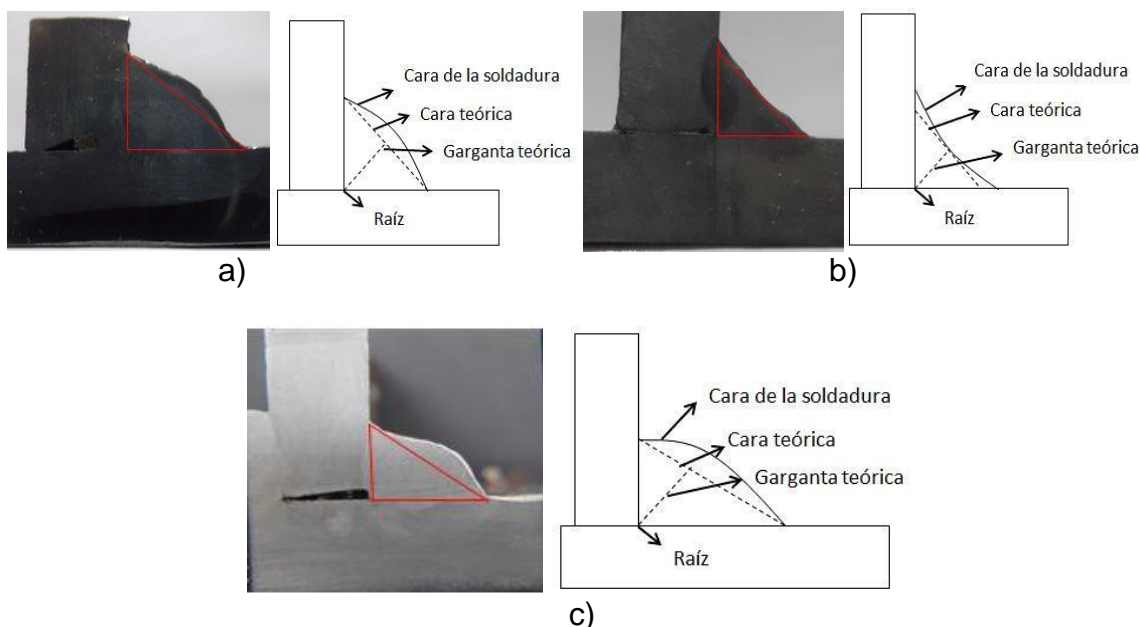
Fuente: Fotografía suministrada por los autores del proyecto

2.2 UNIÓN EN T CON SOLDADURA EN FILETE

Las uniones en T con soldadura en filete, poseen mayor resistencia mecánica a tensión y compresión en comparación con la resistencia mecánica a corte, por este efecto las mismas estructuras se diseñan para soportar esfuerzos a corte y no a combinación de estos.

Las soldaduras en filete se prueban a la ruptura con cargas paralelas a los ejes de la soldadura, ya que estas fallan por corte en ángulos de 45° a través de la garganta, por consiguiente su resistencia es igual al esfuerzo de corte permisible o de diseño por el área teórica de la garganta de la soldadura. Para el filete de lados iguales, el tamaño de la garganta es 0.707 veces el tamaño de la soldadura. De preferencia la soldadura de filete debe tener una superficie plana o ligeramente convexa, aunque la convexidad de la soldadura no se suma a su resistencia calculada.

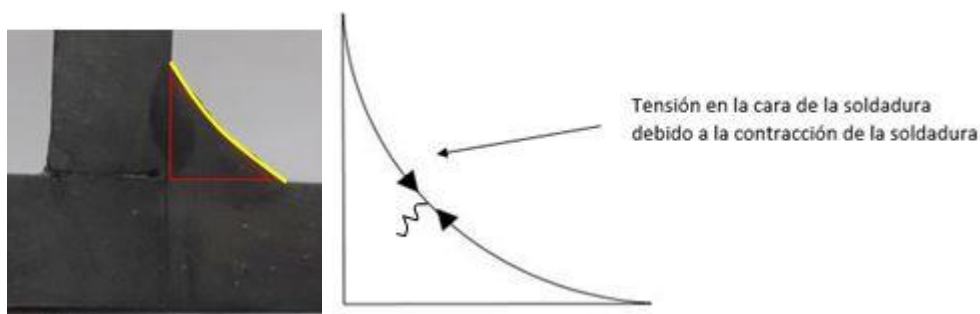
Ilustración 4. a) Superficie convexa, b) Superficie cóncava, c) Soldadura de lados desiguales.



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto.

En el desarrollo de estructuras soldadas, se ha verificado que los cordones de paso simple de forma cóncava tienen una gran tendencia a agrietarse por efecto del enfriamiento, este factor es de mayor importancia que el efecto alisador de esfuerzos debido a la forma convexa.³ Cuando una soldadura cóncava se contrae la tensión generada la tiende a agrietar, por efecto de construcción del cambio de estado líquido a sólido.

Ilustración 5. Tensión en la cara de soldadura

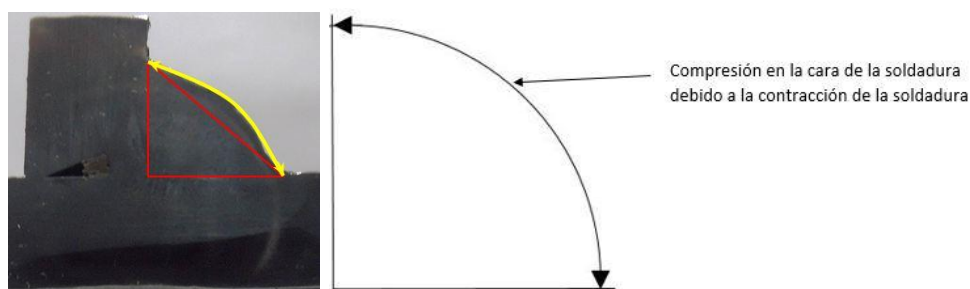


Fuente: (CSERNAK, 2013)

Cuando la superficie de una soldadura convexa se contrae, causa tensión en la superficie o cara exterior, produciendo entonces una compresión en la junta.

³ CSERNAK, J. C.-S. (2013). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* (Quinta ed.). Alfaomega Grupo Editor S.A.

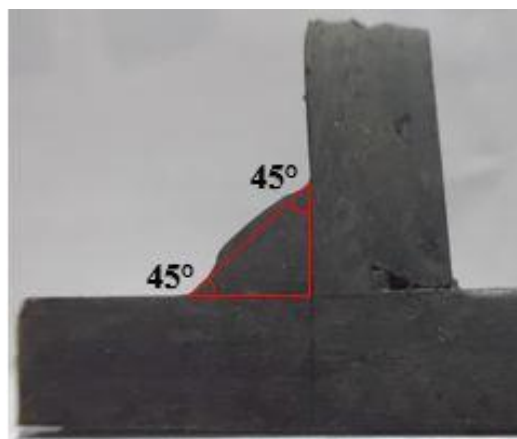
Ilustración 6. Compresión en la cara e soldadura



Fuente: (CSERNAK, 2013)

El ángulo de la cara de la soldadura con respecto a los bordes de la junta en T más conveniente es de 45° , debido a que las dimensiones de los lados son iguales y dichas soldaduras se conoce por la dimensión de sus lados o tamaño de la soldadura. El espesor de la garganta efectiva puede incrementarse en los cálculos si se demuestra que se obtiene una penetración consistente más allá de la raíz de la soldadura.⁴

Ilustración 7. Morfología soldadura en filete con junta en T



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

2.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA EN FILETE CON JUNTA EN T

El esfuerzo en un filete de soldadura, se considera igual a la carga dividida entre el área efectiva de la garganta de la soldadura sin tomar en cuenta la dirección de la

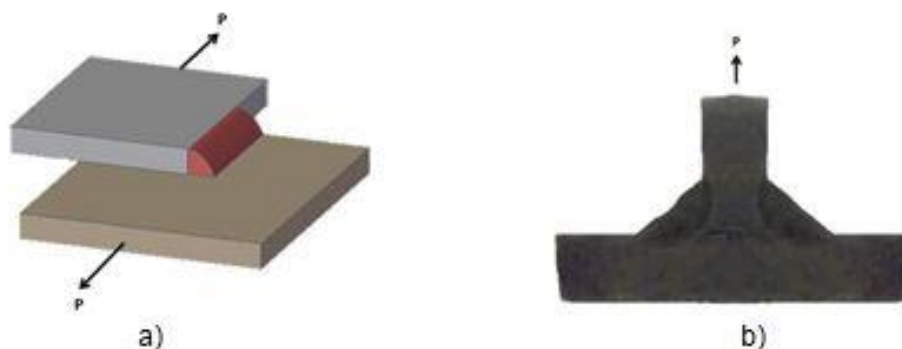
⁴ CSERNAK, J. C.-S. (2013). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* (Quinta ed.). Alfaomega Grupo Editor S.A.

carga. Sin embargo, el código NSR 2010 dispone que las soldaduras de filete cargadas transversalmente son de mayor resistencia que las cargadas paralelamente al eje de soldadura; este comportamiento ocurre porque:

1. La soldadura queda sometida a esfuerzos uniformes sobre toda su longitud, mientras que las soldaduras de filete longitudinales quedan sometidas a esfuerzos no uniformes debido a deformaciones que varían a lo largo de su longitud.
2. Las pruebas muestran que la falla ocurre según ángulos diferentes a 45° , por lo que las soldaduras tienen entonces áreas efectivas más grandes en la garganta.

El método para determinar la resistencia de los filetes a lo largo de sus ejes longitudinales, independientemente de la dirección de la carga, tiene por objetivo simplificar los cálculos.

Ilustración 8. a) Soldadura de filete longitudinal, b) Soldadura de filete transversal



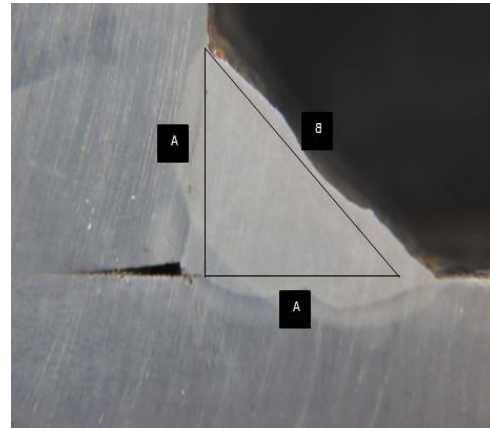
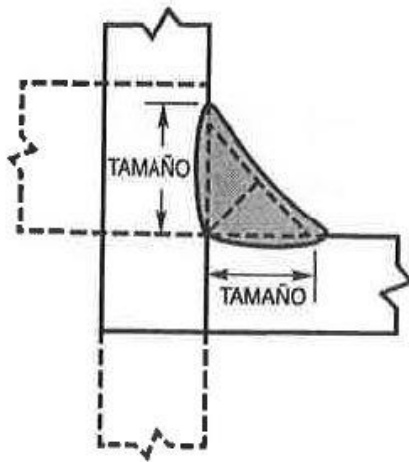
Fuente: Ilustración (a), realizada en el Software Solid Edge ST5, suministrada por los autores del proyecto

2.4 PERFIL DESEADO SEGÚN CÓDIGO AWS D1.1: 2010

La realización y el trabajo de perfiles en filete con junta en T, deben ser respaldados bajo el diseño del código AWS D1.1/D1.1 M: 2010, encontrándose este dentro de los parámetros establecidos de un perfil aceptable o un perfil deseado el cual tiene como características una distancia equidistante igual en los catetos del cordón de soldadura.

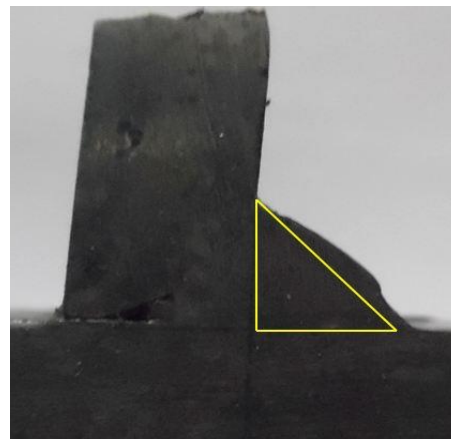
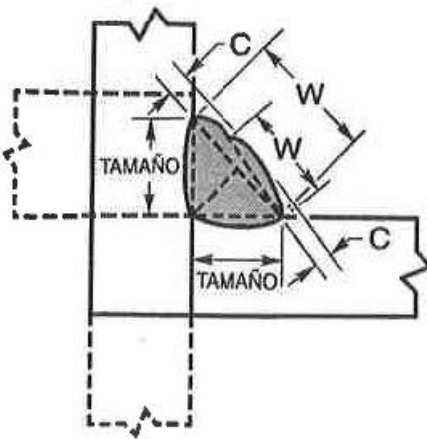
Ilustración 9. Perfiles deseado y aceptable en soldadura de filete juntas de esquinas interiores, unión de traslape y juntas T.

PERFIL DESEADO



(Fotografía suministrada por los autores del proyecto)

PERFIL ACEPTABLE



(Fotografía suministrada por los autores del proyecto)

Fuente: (Código de Soldadura Estructural, AWS D1.1/D1.1 M, 2010)⁵

Al realizar una comparación entre las ilustraciones del AWS D1.1: 2010 Código de Soldadura Estructural – Acero; figura 5.4 E (Perfiles de soldadura de filete juntas de esquinas interiores, unión de traslape y juntas T) y las probetas tomadas de los ensayos se pueden considerar como resultado: **ACEPTABLE** dentro del rango deseado y aceptable expuesto por el código.

⁵ Código de Soldadura Estructural, AWS D1.1/D1.1 M. (2010). En A. W. Society, *Figura 4.37: Quiebre de soldadura de filete y ensayo de placa macro-ataque, calificación de soldador u operador de soldaduras* (22 ed.). American Welding Society.

3 CAPÍTULO III

3.1 METAL BASE ACERO ASTM A572 GRADO 50

El acero ASTM A572 GR-50 se considera como una especificación normalizada para un acero estructural de alta resistencia de baja aleación al Niobio – Vanadio; este acero se considera de alta resistencia y posee mayores características que otros aceros tradicionales y comerciales en el país, presentando propiedades como ductilidad, resistencia a la fatiga, facilidad de maquinado y de soldado, haciendo de este acero uno de los más utilizados para construcciones de puentes y edificios comerciales de uso civil.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó un cupón de acero al cual se le realizó un análisis de espectrometría con el fin de corroborar y comparar que su composición química experimental fuera similar a la composición química teórica.

Tabla 4. Propiedades específicas mecánicas del acero ASTM A572 GR-50

ASTM		A572
GRADO		GR-50
PROPIEDADES MECANICAS		
	UNIDADES	
PUNTO DE FLUENCIA	Mpa	345
	PSI	50.000
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	MPa	450
	PSI	65.000
ELONGACION	%	21
COMPOSICIÓN QUÍMICA		
Carbono max. %		0,23
Manganeso max. %		1,3
Silicio max. %		0,4
Fósforo max. %		0,04
Azufre max. %		0,04
Vanadio max. %		0,02
Niobio max. %		0,005
Cromo min. %		0
Molibdeno max. %		0,017
Niquel max. %		0,082
Cobre max. %		0,2

Fuente: (Acero Hot Rolled, Productos para la Industria)⁶

⁶ Acero Hot Rolled, Productos para la Industria. (s.f.). Recuperado el 2014, de Metaza, una firma de acero: http://www.metaza.com.co/media/acero_hot_rolled.pdf

El acero ASTM A572 grado 50 en comparación a otros aceros estructurales como los son el A36, A514 o el A588, posee beneficios económicos y estructurales debido a sus propiedades mecánicas y fácil consecución en el mercado.

Ilustración 10. Acero ASTM A572 Grado 50



Fuente: (Metaza)⁷

3.2 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DEL ACERO

Con la adición de micro-aleantes (Niobio o Vanadio) se desarrollan aceros de alta resistencia, haciéndolos seguros en su comportamiento mecánico y logrando una reducción en el consumo específico desde el punto de vista estructural. Su accesibilidad en el mercado se enmarca en empresas especializadas y certificadas en la distribución de este tipo de metal, su costo moderado lo hace accesible, debido a esto la verificación y certificación de los mismos se considera obligatorio para empresas que proyectan la utilización de este tipo de material; por ende pruebas como lo son de espectrometría, pruebas mecánicas, micrografías, macrografías y durezas aportan a la credibilidad y confiabilidad en la realización de un proyecto o tesis.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza una prueba de espectrometría (Anexo 1) para verificar el tipo de acero a utilizar en el proyecto, dando como resultado las siguientes evidencias:

⁷ Metaza, U. f. (s.f.). *Productos Industria, Aceros Hot Rolled*. Recuperado el 2015, de <http://www.metaza.com.co/productos-industria/>

Fotografía 5. Análisis prueba de espectrometría

Analysis Report 08/14/14 10:48:53 AM page 1

Method: STALTCAR Sample Name: ALFONSO FATARRYO Operator: CMB
Run Time: 08/14/14 10:38:33
Comment: MUESTRA ACERO TRIANG. * GRUPO SOLDADURA *
Mode: CONC Corr. Factor: 1

Elem	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Avg	.1521	.1634	.5301	<.0010	.0062	.0463	.0559
Elem	Ni	Cu	V	Nb			
Avg	.0643	.1981	.0214	<.0010			

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

4 CAPÍTULO IV

4.1 METAL DE APORTE (SOLDADURA)

La soldadura como definición dada por el código AWS 3.0 – 2010 es un proceso de unión que produce la fusión granular del material por calentamiento a la temperatura de soldadura con, o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de metal de relleno. Debido al uso constante en estructuras metálicas ha sido de gran importancia en los últimos años y considerado como factor primordial en cualquier proyecto que involucre materiales metálicos.

Para la selección del material de aporte se deben tener algunos datos previos como lo son: conocer el material base, diseño de junta y condiciones de trabajo, partiendo de ahí se procede a revisar las tablas del código de la AWS en la que según el tipo de acero a utilizar, recomienda el material de aporte apto para soldar.

Fotografía 6. Proceso de soldadura GMAW.

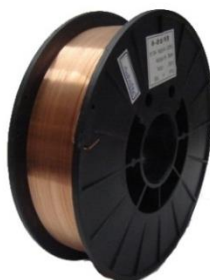


Fuente: Proceso realizado en la empresa Sager de Colombia, con equipos especializados de la empresa Fronius por los autores del proyecto

4.1.1 METAL DE APORTE AWS ER 70S-6

Son los alambres de mayor rendimiento y menor costo para la producción de estructuras metálicas. Como características contienen manganeso y silicio, generando soldaduras con mínimos defectos como lo son porosidades y agrietamientos, al igual que una gran eficiencia en la aplicación debido a que genera mínimos residuos de escoria y tiene una buena penetración; son adecuados para casi todo tipo de acero, desde aceros al carbono calibre 14 hasta placas de $\frac{1}{2}$ "; tiene una gran versatilidad al funcionar con diversas mezclas de gases que producen un charco con buena fluidez.

Ilustración 11. Alambre de soldadura ER70S-6



Fuente: (Soldadura Zelecta S.A de C.V, 2006)⁸

Tomando este material, y a través del código AWS D1.1: 2010, se puede determinar qué tipo de acero es el más conveniente según sus características. En la tabla 3.1 del código de soldadura estructural – acero, especificada como (Metal de base precalificado – combinaciones de metales de aporte) se puede evidenciar que para una especificación de electrodo A5.18 clasificación AWS ER70S-6 proceso GMAW, el acero estructural ASTM A572 Grado 50 grupo II es apto para combinar con este material de aporte.

Las propiedades y características del material de aporte pueden ser determinadas a través de su nomenclatura, brindando información referente a sus propiedades mecánicas, presentación y tipo de electrodo. En las siguientes tablas se muestran características del material de aporte AWS ER70S-6:

Tabla 5. Características del material de aporte AWS ER70S-6

E	R	70	S	-	6
Electrodo proceso Arco Eléctrico varilla.	Presentación en hilo (rollo).	Mínima tensión de 70.000 Psi	Hilo macizo o sólido.	-	Niveles altos de Manganeso y Silicio. Función polaridad positiva.

Fuente: (Heriberto Maury Ramírez, Enrique Esteban Niebles Núñez, Jaime Torres Salcedo, 2009)⁹

⁸ Soldadura Zelecta S.A de C.V. (2006). Recuperado el 2014, de ER 70S-6: www.soldaduraszelecta.com/productos/er-70s6-p-243.html

⁹ Heriberto Maury Ramírez, Enrique Esteban Niebles Núñez, Jaime Torres Salcedo. (2009). *Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados. Un enfoque metodológico y tecnológico*. Barranquilla: Universidad del Norte.

Tabla 6. Composición química del alambre de soldadura ER70S-6

Composición química del alambre de soldadura ER70S-6							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0.06 – 0.15	1.40 – 1.85	0.80 – 1.15	≤ 0.025	≤ 0.035	-	-	≤ 0.50

Fuente: (Harris Products Group, 2015)¹⁰

Tabla 7. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura ER70S-6

Propiedades mecánicas del alambre de soldadura ER70S-6			
Limite elástico	Resistencia a la tensión	Elongación (%)	Impacto de AKV
≥ 420 MPa	≥ 500 MPa	≥ 22	≥ 27 (-29°C)

Fuente: (INFRA WELDING WIRE 70S-6, Microalambre Solido)¹¹

Partiendo de sus buenas características mecánicas y excelente composición química, se puede encontrar en este material de aporte beneficios importantes de uso, que pueden ayudar a marcar una diferencia entre este y otros materiales de aporte en la industria, como los siguientes:

- Bajo costo.
- Bajo consumo de electricidad.
- Fácil manejo en todas las posiciones.
- Bajo contenido de N₂ (Nitrógeno).
- Excelente resistencia a generación de deformaciones como grietas.
- Amplio campo de aplicación.
- Adecuado para materiales finos, medianos y gruesos.

Debido a estas excelentes características, este material es usado en múltiples industrias como lo son en la construcción naval, aceros dulces o aleaciones ligeras, construcción de contenedores, máquinas de construcción, recipientes a presión entre muchas otras.

¹⁰ Harris Products Group. (2015). Recuperado el 2014, de ER70S-6 (GMAW) MIG: <http://www.harrisproductsgroup.com/es/Products/Alloys/Welding/Mild-Steel/ER70S-6-GMAW-MIG.aspx>

¹¹ INFRA WELDING WIRE 70S-6, Microalambre Solido. (s.f.). Recuperado el 2015, de ElectrodoINFRA: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/hojas_tecnicas/alambres_soldar/mw_s6.pdf

4.1.2 METAL DE APORTE AWS E6010

Es un electrodo revestido de alto contenido de celulosa y sodio, diseñado específicamente para generar un arco estable y uniforme con suficiente fuerza para lograr una penetración profunda dentro del metal base. Este tipo de electrodo posee buenas propiedades, las cuales lo ubican entre los electrodos más usados por beneficios como:

- Buena penetración a la raíz.
- De fácil manejo en cualquier posición.
- Excelente resistencia.

Una de sus principales características es que se puede soldar en toda posición, por eso es muy utilizada actualmente en varias industrias y principalmente en la de construcción de estructuras soldadas; cabe reconocer que su uso se basa en sus buenas propiedades químicas y mecánicas, convirtiendo este en uno de los principales materiales de aporte en la industria.

En las siguientes tablas se evidencian las propiedades químicas y mecánicas del material de aporte AWS E6010:

Tabla 8. Composición química del alambre de soldadura AWS E6010

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALAMBRE DE SOLDADURA AWS E6010					
C	Mn	Si	S	P	Cr
≤ 0.20	0.3 – 0.6	≤ 0.2	≤ 0.035	≤ 0.040	0.30

Fuente: (WA.ALLOY CO.)¹²

Tabla 9. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura AWS E6010

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALAMBRE DE SOLDADURA AWS E6010			
Resistencia a la tracción	Límite de fluencia	Elongación (%)	Impacto AKV
430 Mpa	330 Mpa	22%	27 (-30°C)

Fuente: (Capítulo 1, Electrodos para soldar aceros al carbono (AWS A5.1))¹³

¹² WA.ALLOY CO. (s.f.). Obtenido de Washington Alloy Co.: www.weldingwire.com

¹³ Capítulo 1, Electrodos para soldar aceros al carbono (AWS A5.1) . (s.f.). Recuperado el 2014, de WestArco: <http://www.westarco.com/westarco/sp/productos/consumibles/electrodos/upload/1-Electrodos-para-soldar-Aceros-al-Carbono.pdf>

Tabla 10. Características del material de aporte AWS E6010

E	60	1	0
Electrodo proceso Arco Eléctrico varilla.	Mínima tensión de 60.000 Psi	Funcionalidad en todas las posiciones	Revestido con alta cantidad de materia orgánica (Celulosa)

Fuente: (Soldadura de la Clasificación A.W.S)¹⁴

Este electrodo posee una eficiencia de aplicación del 60% debido a pérdidas por salpicaduras y formación de escoria; su charco que se humedece y distribuye mientras que se enfría con rapidez, hace de este electrodo el ideal para técnicas de soldadura de manera vertical hacia arriba o hacia abajo. Este tipo de electrodo es utilizado comúnmente en construcciones de campo, recipientes a presión, oleoductos y estructuras metálicas estáticas.

4.1.3 METAL DE APORTE AWS E7018

Este es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico con un bajo porcentaje de hidrógeno, preferiblemente utilizado con corriente directa de polaridad positiva; debido al polvo de hierro tiene una alta tasa de depósito y bajas pérdidas por salpicaduras, en la gama de electrodos revestidos se ubica con una eficiencia del 70%.

Tabla 11. Características del material de aporte AWS E7018

E	70	1	8
Electrodo proceso Arco Eléctrico varilla.	Mínima tensión de 70.000 Psi	Funcionalidad en todas las posiciones	Bajo en Hidrogeno, funcionalidad en tipo de aceros medianos y penetración media.

Fuente: (Aguirre, 2008)¹⁵

¹⁴ Soldadura de la Clasificación A.W.S. (s.f.). Recuperado el 2015, de Clasificación de la Soldadura, Taller de Estructuras Metálicas: <http://www.multiserviciosoc.com/taller/soldadura/eleclasificacion.html>

¹⁵ Aguirre, M. N. (06 de Abril de 2008). Foro Industrial Técnica y Maquinaria. Norma Americana AWS Soldadura-Soldeo. Obtenido de <http://www.foro-industrial.com/foros/viewtopic.php?t=3482>

Las ventajas de uso del electrodo AWS E7018 se reflejan en su gran facilidad en el encendido y reencendido, buena apariencia y limpieza de escoria sin dificultad; debido a sus componentes lo convierten en una soldadura apta para una gran variedad de aceros y situaciones donde se necesiten altas temperaturas sin afectar las características y propiedades de la misma.

Tabla 12. Composición química del alambre de soldadura AWS E7018

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALAMBRE DE SOLDADURA AWS E7018					
C%	Mn%	Si%	P%	S%	Mo%
0,12	0,90	0,80	0,03	0,03	0,40 – 0,65

Fuente: (Electrodos Baja Aleación, AW 7018-A1)¹⁶

Tabla 13. Propiedades mecánicas del alambre de soldadura AWS E7018

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALAMBRE DE SOLDADURA AWS E7018		
Resistencia a la tensión	Limite elástico	Elongación en 2"
490 Mpa	390 MPa	22%

Fuente: (Electrodos Baja Aleación, AW 7018-A1)

Este tipo de metal de aporte es utilizado en aceros estructurales debido a su resistencia a la tensión mínima especificada en 70.000 PSI, aplicado en estructuras metálicas, tuberías, tanques a presión, calderas, industria petrolera, gasoductos, al igual en el campo cementero en secciones gruesas y pesadas, placas de hornos y entre otros.

¹⁶ *Electrodos Baja Aleación, AW 7018-A1.* (s.f.). Recuperado el 2015, de ElectrodoSINFR: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/hojas_tecnicas/especiales/baja_aleacion/AW7018-A1.pdf

5 CAPÍTULO V

5.1 GAS DE PROTECCIÓN

El proceso de soldadura GMAW utiliza actualmente una gran variedad de gases y mezclas, los cuales tienen como objetivo primario evitar oxidación y contaminación del metal y la soldadura fundida de la atmosfera que la rodea; el uso de un gas de protección varia teniendo en cuenta condiciones básicas como:

- a) Metal base
- b) Ancho y ángulo de soldadura
- c) Características del arco
- d) Velocidad de aporte de soldadura
- e) Penetración de soldadura
- f) Costo

Para la elección del gas de protección en el desarrollo de este proyecto, se tuvo en cuenta las diferentes opciones de mezclas entre los gases, encontrándose que el más indicado es el CO₂ al 100% por tener características favorables como lo es su bajo costo, y ofrecer una excelente protección cumpliendo así con lo estipulado por el código de la AWS.

5.1.1 CO₂

En la industria el costo asociado a mezclas en los procesos semiautomáticos es incluido como un gasto primario, debido a que las mezclas actuales como los son el Argón (Ar), Helio (He) u Oxígeno (O₂) son considerablemente de alto costo; caso contrario ocurre con el gas CO₂ que como gas de protección es el más económico en el mercado, validado por normas y códigos como lo es el AWS D1.1: 2010 referencian el CO₂ como un gas óptimo para la utilización en la industria de la infraestructura.

Fotografía 7. Cilindro de Dióxido de Carbono CO₂



Fuente: Fotografía suministrada por los autores del proyecto

5.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL CO₂

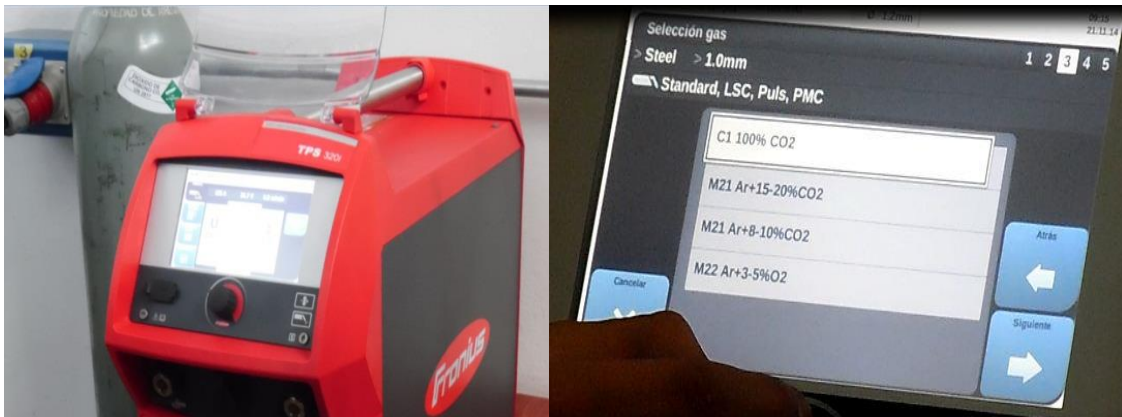
El uso de CO₂ se ha difundido en el proceso de GMAW como el gas más beneficioso en el mercado debido a sus características como:

- a) Bajo costo
- b) Produce penetraciones más profundas y anchas
- c) Reduce el riesgo de socavaciones y fallas de fusión
- d) Aumenta la resistencia al impacto en el cordón de soldadura
- e) Aumenta la resistencia a la corrosión

Es de considerar, que su comportamiento como gas protector se encuentra limitado por procesos de corto circuito y globular, debido a que la aplicación si se genera en forma de rocío provocara mayor salpicadura e ineficiencia en la penetración del metal de aporte.

La salpicadura es una de las consecuencias que muestran lo eficiente o ineficiente que puede llegar hacer el gas de protección, pero teniendo en cuenta los equipos actuales el control de flujo y la velocidad de alimentación, hacen de este gas muy seguro y económico respecto a otros gases de la misma utilidad. Las salpicaduras son consideradas como un factor de contaminación ambiental debido a sus desperdicios, los cuales no se pueden reutilizar ni recolectar para un debido tratamiento, por lo anterior el mercado ha avanzado en el área de fuentes de alimentación, materiales de aporte con mejores características químicas y partes en equipos de soldadura con una excelente precisión, un claro ejemplo es la empresa Sager – Fronius que utiliza un equipo con el CO₂ al 100% en aplicación del proceso GMAW y del cual este proyecto se basa para realizar las actividades de prueba.

Fotografía 8. Fotografía equipo Fronius TPS 320i utilizado en el proyecto, con gas de protección al 100% de CO₂



Fuente: Fotografía suministrada por los autores del proyecto

6 CAPÍTULO VI

6.1 PRECALENTAMIENTO

El proceso de precalentamiento consiste en elevar la temperatura de una pieza hasta una temperatura específica según condiciones y especificaciones, buscando reducir en la aplicación de soldadura agrietamientos debido a la velocidad de enfriamiento, el cual al calentar la pieza reduce esta velocidad y a su vez las tensiones generadas permitiendo una mejor compactación en la microestructura del material de aporte y el material base, procedimiento que según la consigna del código AWS D1.1: 2010 sección 3 título 3.5 (Requerimiento de la temperatura mínima de precalentamiento e interpase) debe ser usada para prevenir fisuración según tabla 3.2 (Temperatura mínima de precalentamiento precalificado y de interpase).

Actualmente existen numerosos métodos para poder determinar a través de cálculos y códigos la necesidad de precalentar una soldadura, en ellos se considera factores que pueden influir en la calidad de la soldadura debido a la susceptibilidad de fisuración en frío, estos pueden ser por composición química, nivel de hidrógeno, espesor de las piezas, grados de restricción entre muchas otras. Estos métodos consideran la formación de microestructuras frágiles en la ZAC de la soldadura y su comportamiento ante la presencia de hidrógeno en la misma.

Los métodos utilizados en este proyecto fueron el diagrama y ecuación de Graville (precalentamiento) y la ecuación de Sefferian (temperatura entre pases), ya que se tienen los datos necesarios para obtener la información deseada y así controlar el proceso y evitar discontinuidades que perjudican la aplicación.

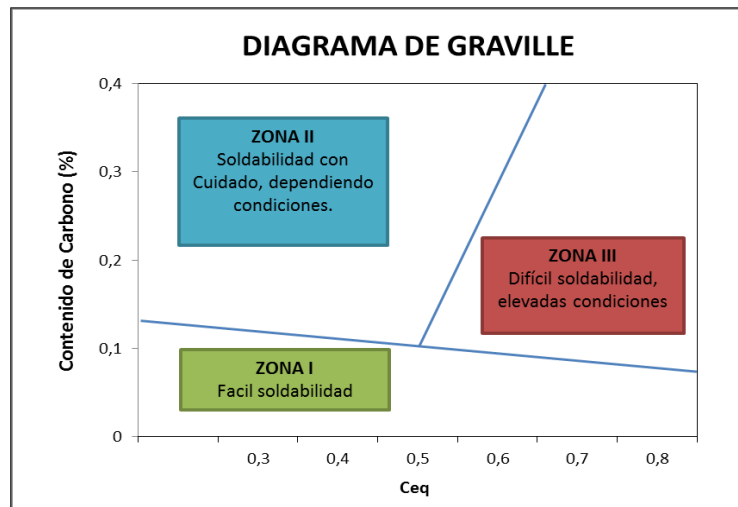
6.1.1 DIAGRAMA DE GRAVILLE

El Diagrama de Graville, es utilizado normalmente para evaluar la posibilidad de aplicación de precalentamiento o tratamiento térmico post-soldadura a través de la composición química del acero, dependiendo la zona donde se reference el carbono equivalente se puede determinar el procedimiento a seguir; se consideran en el diagrama tres zonas las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Zona I: Aceros de bajo carbono y bajo endurecimiento donde la fisuración es imposible, pero puede ocurrir con alto hidrógeno o alto nivel de restricción.
- Zona II: Aceros con mayor porcentaje de carbono, el riesgo de presentarse fisuramiento en la ZAC puede ser evitado mediante un control de la velocidad de enfriamiento o por medio de aporte térmico, considerando las pautas del código AWS D1.1: 2010 tabla 3.2 sección 3 (Temperatura mínima de precalentamiento precalificado y de inter pase).

- Zona III: Aceros con elevado porcentaje de carbono y alto endurecimiento y en todas las condiciones de soldadura se pueden presentar microestructuras susceptibles a fisuras, por lo que se debe aplicar procesos de bajo hidrogeno, precalentamiento y proceso de post-soldadura.

Diagrama 2. Diagrama de Graville



Fuente: (Ingemecánica, 2015)¹⁷

Al relacionar la composición química del acero sin involucrar el espesor de la pieza, el diagrama de Graville y su ecuación permiten ubicar el acero en estudio dentro de zonas de referencia ya establecidas donde con su ubicación podemos tomar las medidas de acción correspondientes.

Ecuación 1. Ecuación de Graville para hallar Carbono equivalente

$$\%Ceq = C\% + \left(\frac{Mn\% + Si\%}{6} \right) + \left(\frac{Cr\% + Mo\% + V\%}{5} \right) + \left(\frac{Ni\% + Cu\%}{15} \right)$$

Fuente: (Guía de Métodos Alternativos para Determinar el Precalentamiento en la Soldadura de Aceros Estructurales)¹⁸

¹⁷ Ingemecánica. (2015). *Características Mecánicas del Acero*. Obtenido de Ingemecánica: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

¹⁸ *Guía de Métodos Alternativos para Determinar el Precalentamiento en la Soldadura de Aceros Estructurales*. (s.f.). Recuperado el 2015, de ANEXO IV, Proyecto de Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero: <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/304/AnexoIV.pdf>

Ecuación 2. Solución a la ecuación de Graville para hallar Carbono equivalente

$$\%Ceq = 0,23\% + \left(\frac{1,3\%Mn + 0,4\%Si}{6} \right) + \left(\frac{0\%Cr + 0,017\%Mo + 0,02\%V}{5} \right) + \left(\frac{0,082\%Ni + 0,2\%Cu}{15} \right)$$

$$\%Ceq = 0,54\%$$

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Según la ecuación de Graville, el acero ASTM A572 Grado 50 se encuentra dentro de la zona II lo que correspondería a aceros con mayor porcentaje de carbono con el riesgo de presentarse fisuramiento en la ZAC evitado mediante un control de la velocidad de enfriamiento o por medio de aporte térmico. Concatenando el criterio de precalentamiento según la zona II de ubicación del acero, el correspondiente procedimiento debe ser validado bajo el código AWS D1.1: 2010 tabla 3.2 sección 3 (Temperatura mínima de precalentamiento precalificado y de interpase), donde se referencia lo siguiente:

Para un proceso de soldadura GMAW si la pieza se encuentra en un espesor mayor a 38 mm, se debe tomar una temperatura mínima de precalentamiento de 65°C y para un proceso de soldadura SMAW si el espesor se encuentra entre 3 a 20 mm, la temperatura mínima de precalentamiento debe ser de 0°C. Teniendo en cuenta lo anterior y debido a que las piezas de muestra en el proyecto poseen un espesor de 9 mm, la aplicación de un proceso de precalentamiento no se considera obligatorio aun si el acero se encuentra en la zona II.

6.2 TEMPERATURA ENTRE PASES

La temperatura entre pases permite controlar la existencia de fallas a nivel microscópico que afecten las propiedades mecánicas de la soldadura, permitiendo reducir los riesgos que se generan al solidificarse por la velocidad de enfriamiento después de cada pasa de soldadura.

6.2.1 ECUACIÓN DE SEFFERIAN

Utilizando la ecuación de Sefferian, se determina cuál es la temperatura máxima que se puede presentar entre pases de soldadura para evitar fisuramiento o susceptibilidades a nivel microscópico, método que al igual que el diagrama y ecuación de Graville utilizan la composición química del material (Acero) como fuente para determinar el parámetro.

Ecuación 3. Ecuación de Sefferian

$$T^{\circ} = 350\sqrt{Ct-0,25}$$

$$Ct = Cq + Ce$$

$$Cq = C\% + \left(\frac{Mn\% + Cr\%}{9} \right) + \left(\frac{Ni\%}{18} \right) + \left(\frac{Mo\%}{15} \right)$$

$$Ce = 0,005 \times \epsilon(mm) \times Cq$$

Fuente: (SOLDEXA, Boletín técnico de Soldadura, 2009)¹⁹

Conociendo la composición química y el espesor del material base, se puede calcular y analizar la temperatura que se debe manejar entre pases de soldadura; el no controlar la temperatura entre pases generaría estructuras de ferritas aciculares caso que si se llegara a generar un enfriamiento acelerado provocaría fracturas por ductilidad a nivel microscópico impidiendo la formación de ferrita intergranular.

Ecuación 4. Solución a ecuación de Sefferian

$$Cq = 0,23\% + \left(\frac{1,3\%Mn + 0\%Cr}{6} \right) + \left(\frac{0,082\%Ni}{18} \right) + \left(\frac{0,017\%Mo}{15} \right)$$

$$Cq = 0,45\%$$

$$Ce = 0,005 \times 9(mm) \times 0,45$$

$$Ce = 0,02025$$

$$Ct = 0,45 + 0,02025$$

$$Ct = 0,47025$$

$$T^{\circ} = 350\sqrt{0,47025-0,25}$$

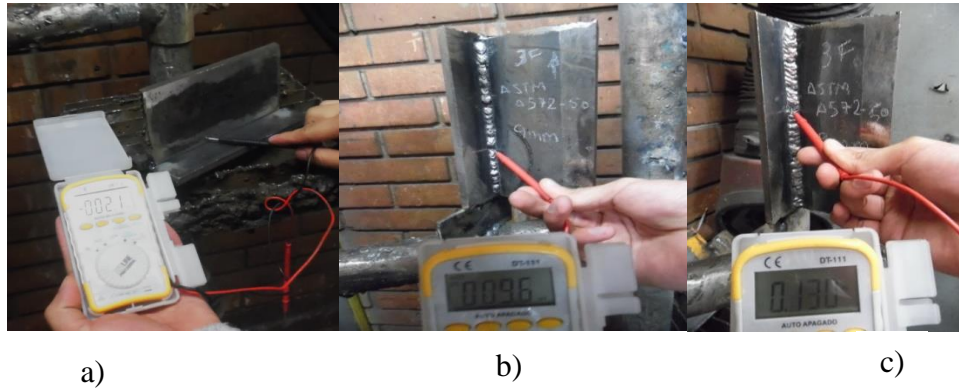
$$T^{\circ} = 164^{\circ}C$$

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Teniendo como parámetro de temperatura máxima 164°C se procede a realizar las pruebas de soldadura, regulando la temperatura para no sobrepasarla en ninguno de los pases.

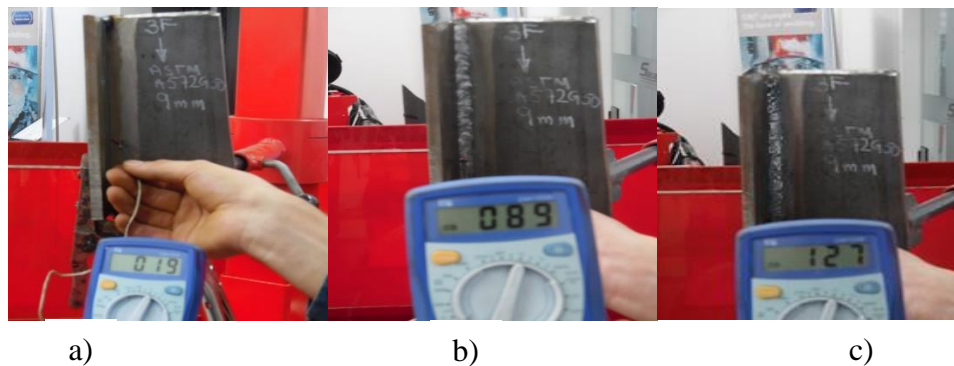
¹⁹ SOLDEXA, Boletín técnico de Soldadura. (Septiembre de 2009). Obtenido de Recuperación de Brida de Sujeción de Rueda Pelton : http://www.soldexa.com.pe/ficha_boletin/bol109_RECUPERACION_DE_BRIDA_DE_SUJECION_DE_RUEDA_PELTON.pdf

Fotografía 9. a) Temperatura inicial, b) Temperatura pase raíz y c) Temperatura pase de presentación. (Proceso SMAW)



Fuente: Fotografías suministrada por los autores del proyecto

Fotografía 10. a) Temperatura inicial, b) Temperatura pase raíz y c) Temperatura pase de presentación. (Proceso GMAW)



Fuente: Fotografías suministrada por los autores del proyecto

Tabla 14. Tabla de temperaturas registradas en procesos de soldadura SMAW y GMAW

	AMBIENTE	RAÍZ	PRESENTACIÓN
SMAW	21°C	96°C	136°C
GMAW	19°C	89°C	127°C

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

7 CAPÍTULO VII

7.1 PARAMETRIZACIÓN DE EQUIPOS SMAW Y GMAW

En la parametrización de la máquina de soldadura SMAW, se utilizan dos probetas con el fin de establecer las condiciones óptimas de voltaje, corriente y velocidad de aplicación, manteniendo un control de temperatura entre cada pase con el fin de no sobrepasar los límites establecidos por los métodos de Sefferian o Graville.

En las siguientes tablas se registraron los datos obtenidos en la aplicación de cada proceso.

Tabla 15. Parámetros establecidos para el procedimiento de soldadura SMAW

PROBETAS SOLDADAS CON PROCESO SMAW PROGRESION ASCENDENTE	Raiz	Probeta 1	Probeta 2	Unidades
	FLUJO	-	-	Lts/min
	VOLTAJE	25	24	V
	CORRIENTE	115	122	Amp
	ESTABILIDAD DE PENETRACION	-	-	-
	ESTABILIDAD DE ARCO	-	-	-
	VELOCIDAD DEL HILO	-	-	-
	TIEMPO	74	68	Seg
	T° Inicial	21	22	°C
	T° Final	136	137	°C
	LONGITUD DE PASE	17	16	Cm
	ESPESOR	9	9	-
	Presentación	Probeta 1	Probeta 2	Unidades
	T° FINAL	151	158	°C
	ESPESOR	-	-	-
	LONGITUD DE LA PROBETA	16	16	Cm
	TIEMPO	64	59	Seg
	VOLTAJE	24	24	V
	CORRIENTE	145	150	Amp
	VELOCIDAD	-	-	-

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto



Fotografía 11. Evidencias del proceso de soldadura SMAW en posición 3F

Luego de establecer los parámetros, se utiliza una probeta única que será la base para establecer las propiedades y variables de comparación con el proceso de soldadura GMAW.

En la parametrización de la máquina de soldadura GMAW, se utilizan dos probetas al igual que con el proceso SMAW con el fin de establecer las condiciones óptimas de las variables necesarias, con el fin de no sobrepasar la temperatura máxima de 164°C entre pases.

Tabla 16. Parámetros establecidos para el procedimiento de soldadura GMAW

PROBETAS SOLDADAS CON PROCESO GMAW PROGRESION DESCENDENTE	Raíz	Probeta 1	Probeta 2	Unidades
	FLUJO	18	18	Lts/min
	VOLTAJE	24	26	V
	CORRIENTE	186	187	Amp
	ESTABILIDAD DE PENETRACION	2	2	M/min
	ESTABILIDAD DE ARCO	1	1	
	VELOCIDAD DEL HILO	11,5	11,7	M/min
	TIEMPO	35,36	29	Seg
	T° Inicial	19	21	°C
	T° Final	89	108	°C
	LONGITUD DE PASE	20	16	Cm
	ESPESOR	9	9,2	mm
	Presentación	Probeta 1	Probeta 2	Unidades
	T° FINAL	127	153	°C
	ESPESOR	6	8,3	mm
	LONGITUD DE LA PROBETA	16	15	Cm
	TIEMPO	33	40	Seg
	VOLTAJE	22,4	23,8	V
	CORRIENTE	208	204	Amp
	VELOCIDAD	9,7	10,8	M/min

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto



Fotografía 12. Evidencias del proceso de soldadura GMAW en posición 3F

Luego de establecer los parámetros se utiliza una probeta única, que será la base para establecer las propiedades y variables de comparación con el proceso de soldadura SMAW.

8 CAPÍTULO VIII

8.1 SEGURIDAD EN SOLDADURA, CORTE Y PROCESOS ALIADOS ANSI / ASC Z49.1 – 94

La norma ANSI Z49.1, cubre todos los aspectos en seguridad y salud en procesos de soldadura, estableciendo parámetros que minimicen el riesgo de accidentes teniendo en cuenta factores como: equipos, condiciones de mantenimiento, ventilación, señales, pantallas protectoras, E.P.P²⁰(guantes, delantales, polainas, gorras y mangas).

La responsabilidad de mantener un área segura corresponde a la gerencia, la cual debe mantener un control en los procedimientos y cerciorar que según el proceso deseado se cumplan requisitos como: controles en los mantenimientos, en la comunicación de riesgos y los equipos aprobados, minimizando así el riesgo de operación. La ventilación es uno de los factores más importantes, debe estar provista en todas las operaciones de soldadura tal que la exposición personal a concentraciones superiores a los T.L.V²¹de contaminantes en el aire, sea mantenida por debajo de los límites permitidos especificados por la OSHA^{22, 23}.

Fotografía 13. Elementos de protección personal.



Fuente: Fotografías suministrada por los autores del proyecto

²⁰ E.P.P: Elementos de Protección Personal

²¹ T.L.V: Threshold Limit Value ó Valor Límite Umbral

²² OSHA: Occupational Safety and Health Administration o Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

²³ Society, A. W. (1994). *Seguridad en Soldadura, Corte y Procesos Aliados*. Estados Unidos de America, 550 N.W. Lejeune Road, Miami, Florida: Sociedad Americana de Soldadura.

8.2 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

El procedimiento de soldadura como definición por la AWS es: “Los métodos y prácticas detallados implícitos en la producción de una soldadura”, al realizar estos procedimientos se deben tener claro las finalidades como lo son:

- Reducir las tensiones residuales localizadas
- Minimizar los cambios metalúrgicos perjudiciales en la ZAC²⁴
- Construir uniformemente un ensamble por soldadura

8.2.1 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Todos los procedimientos de soldadura deben ser aprobados y calificados por ingenieros capacitados y especializados, comunicándoselos a aquellos que necesiten conocer la información en los que se incluyen diseñadores, inspectores y supervisores. Un documento que especifica un procedimiento de soldadura debe proporcionar al detalle las variables utilizadas con el fin de poder ser repetido por otros soldadores y así ser probado y calificado; como registro de un procedimiento de soldadura se cuenta con el WPS²⁵ que especifica las variables al soldador para asegurar que se cumplan los códigos reglamentarios en el trabajo describiendo variables esenciales y necesarias para el proceso de soldadura.

8.2.1.1 METODOLOGÍA PARA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

El proceso para la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura se puede describir en los siguientes pasos:

- Reconocimiento del proyecto
- Selección del código a aplicar
- Definición de variables (esenciales, no esenciales y suplementarias)
- Elaboración del documento Especificación del Procedimiento de Soldadura – WPS preliminar
- Preparación de la junta
- Punteado y procedimiento de soldadura
- Inspección visual
- Selección y aplicación de ensayos requeridos
- Registro de calificación del procedimiento PQR²⁶
- Edición del procedimiento de soldadura
- Calificación del soldador WPQ

Luego el procedimiento se pasa a ensayos para calificar en un WPS, ensayos como:

²⁴ ZAC: Zona Afectada por el Calor

²⁵ WPS: Welding Procedure Specification – Especificación del Procedimiento de Soldadura

²⁶ PQR: Procedure Qualification Record – Registro de Calificación de Procedimiento

- Ensayo de impacto (variables esenciales y suplementarias)
- pruebas de resistencia a la corrosión (si es especificado)
- pruebas de tensión
- pruebas de doblez guiado

Antes de iniciar el proceso de calificación, es muy importante recolectar la información de las variables que se van a utilizar en el procedimiento de soldadura, para así conocer características como son: el tipo de estructura, material a utilizar, espesores que se manejarán o qué tipos de unión tendrá; valores como estos pueden ser diligenciados al tiempo en un WPS para su debida reproducción. Al realizar las pruebas es muy importante considerar los factores de corte, limpieza, ambiente, posición de la probeta, inclinación y aplicación de la soldadura, con esto se garantizará un trabajo más acorde a los estándares de calidad solicitados por los entes reglamentarios a través de los códigos.

8.2.2 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERARIOS DE SOLDADURA

Para la calificación de soldadores, los procedimientos y ejes de acción son muy similares al proceso de calificación de procedimiento de soldadura, debido a que se busca demostrar que el soldador u operario de soldadura tiene la capacidad y habilidad para ejecutar una soldadura en determinada posición, y acorde a unas especificaciones dadas en un procedimiento de soldadura estipulado para la aplicación requerida; el formato general en la calificación de soldadores y operarios de soldadura es el conocido formato PQR o WPS.

8.2.2.1 METODOLOGÍA PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERARIOS DE SOLDADURA

El conocer las variables en la aplicación de proceso un de soldadura como son las obtenidas y registradas en el formato WPS, permiten calificar las habilidades del soldador u operador en la realización del proceso al comparar los resultados con los ya obtenidos previamente dando paso a una secuencia de calificación como la siguiente:

- Elaboración y calificación de procedimientos de soldadura.
- Preparación de la junta.
- Desarrollo de la soldadura.
- Inspección visual.
- Selección y aplicación de ensayos requeridos.
- Registro de calificación del procedimiento PQR.

Pasos para documentar el formato PQR o WPQ:

- Identificar las necesidades de calificación de soldador.
 - Procesos de soldadura.

- Posición de soldadura.
- Materiales base.
- Rango de espesores.
- Tipos de junta.
- Fabricación.
- Identificar e interpretar el procedimiento de soldadura especificado para la calificación.
- Identificar las variables esenciales.
- Verificar que el equipo y materiales de trabajo se encuentren en condiciones óptimas.
- Verificar que la probeta de prueba cumpla con los requerimientos dimensionales y de forma según código.
- Inspeccionar el desarrollo de la soldadura para asegurar que cumpla con el procedimiento de soldadura especificado.
- Seleccionar y aplicar los ensayos requeridos para evaluar las probetas soldadas.
- Elaborar el documento de calificación de la habilidad del soldador.

La elaboración de formatos como WPS y PQR son requisitos que el código AWS D1.1/D1.1 M: 2010 considera necesarios y de carácter obligatorio para mecanismos de calificación de procedimientos y de soldadores, con el fin de que las variables obtenidas puedan ser replicadas en otros procedimientos, y mantener la misma calidad que el proceso previamente calificado.

Debido a lo anterior se realizan formatos de WPS y PQR que anexan las variables y los resultados obtenidos durante los procesos de soldadura GMAW con progresión descendente, y SMAW con progresión ascendente.

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

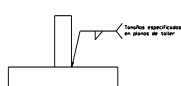
Formato 1. WPS proceso SMAW

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICION 3F PROGRESION DESCENDENTE COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.																																																				
				ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS), <input checked="" type="checkbox"/>																																																
				PRECALIFICADO <input type="checkbox"/>																																																
				CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/>																																																
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/>																																																				
IDENTIFICACIÓN <u>WPS 1A</u> REVISIÓN N° <u>01</u> FECHA <u>09 de Febrero de 2015</u> CONDUCTIDO POR: <u>Ing. Alfonso Patarroyo P.</u> PQR SOPORTE DE LA CALIFICACIÓN N° (s) <u>PQR 1</u>																																																				
PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>																																																				
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLE DE LA JUNTA																																																
TIPO: UN LADO <input checked="" type="checkbox"/> AMBOS LADOS <input checked="" type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DEL RESPALDO <u>N.A.</u> ABERTURA DE RAÍZ (r) <u>0</u> DIMENSIÓN DE LA CARA DE LA RAÍZ (f) <u>-</u> ÁNGULO DEL BISEL <u>-</u> RADIO (J, U) <u>N.A.</u> SANEADO DE RAÍZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MÉTODO PARA EL SANEADO DE RAÍZ _____																																																				
METAL BASE				POSICIÓN																																																
ESPECIFICACIÓN <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A 572</u> ESPESORES _____ BISEL (f) <u>-</u> FILETE <u>3mm y mayores</u> DIAMETROS (TUBERÍA) <u>N.A.</u>				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase N°</th> <th>Proceso</th> <th>Clasifi.</th> <th>Diámetro</th> <th>Corriente</th> <th>Tipo y polaridad</th> <th>A ó WFS</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>SMAW</td> <td>E-6010</td> <td>3.2mm(1/8")</td> <td>DC-EP</td> <td>70-115</td> <td></td> <td>20-25</td> <td>0,24 (M/min)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SMAW</td> <td>E-7018</td> <td>3.2mm(1/8")</td> <td>DC-EP</td> <td>100-145</td> <td></td> <td>20-25</td> <td>0,22 (M/min)</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				Pase N°	Proceso	Clasifi.	Diámetro	Corriente	Tipo y polaridad	A ó WFS	Voltaje	Velocidad de avance	1	SMAW	E-6010	3.2mm(1/8")	DC-EP	70-115		20-25	0,24 (M/min)	2	SMAW	E-7018	3.2mm(1/8")	DC-EP	100-145		20-25	0,22 (M/min)																		
Pase N°	Proceso	Clasifi.	Diámetro	Corriente	Tipo y polaridad	A ó WFS	Voltaje	Velocidad de avance																																												
1	SMAW	E-6010	3.2mm(1/8")	DC-EP	70-115		20-25	0,24 (M/min)																																												
2	SMAW	E-7018	3.2mm(1/8")	DC-EP	100-145		20-25	0,22 (M/min)																																												
METAL DE APORTE				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS																																																
ESPECIFICACIÓN AWS <u>A5.1</u> CLASIFICACIÓN AWS <u>E-6010, E-7018</u>				TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW) CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>																																																
PROTECCIÓN				TECNICA																																																
FUNDENTE <u>N.A.</u> GAS <u>N.A.</u> COMPOSICIÓN <u>N.A.</u> CLASIFICACIÓN ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A.</u>				CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/> MÚLTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) <u>simpl</u> MÚLTIPLE _____ NÚMERO DE ELECTRODOS <u>N.A.</u> DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS _____ LONGITUDINAL <u>N.A.</u> LATERAL <u>N.A.</u> ÁNGULO <u>N.A.</u>																																																
PRECALENTAMIENTO				MARTILLO																																																
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MÍNIMA <u>23°C</u> TEMPERATURA ENTRE PASES MÍNIMA <u>31°C</u> MÁXIMA <u>151°C</u>				NO LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECÁNICA</u>																																																
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparados, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.																																																				
AUTORIZADO POR _____ FECHA _____ FIRMA: _____ CONDUCTIDO POR <u>Ing. Alfonso Patarroyo</u> FECHA <u>09 de Febrero de 2015</u> FIRMA: _____																																																				
Este procedimiento puede variar de acuerdo a la secuencia de fabricación, composición, tamaño del pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANSI/AWS D1.1 . Structural Welding Code.																																																				
NOTA 1. MÁXIMO TAMAÑO DE FILTE CON PASE SENCILLO 8mm																																																				

Anexo 2.

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO
GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO
SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.**

Formato 2. PQR proceso SMAW

ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA WPS SI....										
PRECALIFICADO [...] CALIFICADO POR LA PRUEBA [...]										
REGISTRO DE PROCESO DE CALIFICACION PQR SI....										
PQR										
NOMBRE DE LA COMPAÑIA		-		IDENTIFICACIÓN #	-		FECHA	09/02/2015		
PROCESO(S) DE SOLDADURA		SMAW		REVISIÓN	X		POR	Alfonso Patarroyo		
SOPORTE PQR No.		1		AUTORIZADO POR	-		FECHA	09/02/2015		
DISEÑO DE JUNTA USADO		Filete		TIPO MANUAL	X		SEMIAUTOMÁTICO			
TIPO		T		MECANIZADO			AUTOMÁTICO			
SENCILLO		X		POSICIÓN						
DOBLE SOLDADURA				POSICIÓN DEL CORDON		3F				
RESPALDO		-		FILETE		T				
MATERIAL DE RESPALDO		-		PROGRESIÓN VERTICAL		SUBIENDO X BAJANDO				
APERTURA DE RAIZ	-	MEDICIÓN CARA DE RAIZ	-	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
ÁNGULO DEL CORDÓN	-	RADIO J - U	-	MODO DE TRANSFERENCIA		CORTO CIRCUITO X				
RANURA TRASERA		-		CORRIENTE		GLOBULAR				
MÉTODO		-		FUENTE DE ALIMENTACIÓN		AC				
METALES BASE		-		OTRO		DCEP X PULSO				
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL		AWS A572 GRADO 50		ELECTRODO DE TUGSTENO GTAW		CC X CV				
TIPO O GRADO		-		TÉCNICA		MEDIDA - TIPO -				
ESPESOR		CORDÓN FILETE X		TIRA O CORDON		-				
DIÁMETRO (PROBETA)		1" (2,54 cm)		MULTIPUNTO O MONOPUNTO (POR LADO)		Cordon Multipunto				
METAL DE RELLENO		X		NUMERO DE ELECTRODOS		2				
ESPECIFICACIÓN AWS		E6010 - E7018		DISTANCIA DEL ELECTRODO		LONGITUD 17 cm				
CLASIFICACIÓN AWS		A5.18		CONTACTO		LATERAL -				
PROTECCIÓN FLUJO		GAS -		INCLINACIÓN		ÁNGULO -				
COMPOSICIÓN		CAUDAL -		INTERPASE DE LIMPIEZA		15 cm				
FLUJO ELECTRODO		TAMAÑO BOQUILLA DE GAS -		TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLDADURA		9"				
PRECALENTAMIENTO		TEMPERATURA MIN. PRECALENTAMIENTO 23		TEMPERATURA		Grata manual				
TEMPERATURA DE PASO		MÍNIMA 131 MÁXIMO 151		TIEMPO						
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
CAPAS DE SOLDADURA	PROCESO	CLASE	DIÁMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPERIOS Y VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE CABLE	VOLTAJE	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	DETALLES DE JUNTA		
1	SMAW	E6010	8 mm	+				Raiz		
2	SMAW	E7018	8 mm	+				Presentación		
REGISTRO PRECEDIMIENTO DE CALIFICACION (PQR) #										
PRUEBA DE RESULTADOS										
ESPECIMEN No.	ANCHO	ESPESOR	AREA	ULTIMA CARGA A LA TENSION, LB	ULTIMA UNIDAD DE FATIGA, PSI	CARACTERÍSTICA DE LA FALLA Y UBICACIÓN				
-	-	-	-	-	-	-				
PRUEBA GUIADA DE DOBLES										
ESPECIMEN No.	TIPO DE DOBLEZ	RESULTADOS	REMARKADOS							
-	-	-	-							
INSPECCION VISUAL										
APARIENCIA	Aceptable			EXÁMEN RADIOGRÁFICO Y ULTRASONICO	RT REPORTE No.	-	RESULTADO	-		
REBAJA	-				UT REPORTE No.	-	RESULTADO	-		
POROSIDADES TUBULAR	Ninguno			RESULTADOS DE LA PRUEBA SOLDADURA EN FILETE						
CONVEXIDAD	-			MÍNIMA MEDIDA DE PASO MÚLTIPLE MACROETCH	MÁXIMA MEDIDA DE PASO MACROETCH					
FECHA DE PRUEBA	10 de Febrero de 2015			1.	2.	3.	1.	2.	3.	
TODAS LAS PRUEBAS DE TENSION DE LOS METALES SOLDADOS										
TESTIGO				FUERZA DE TENSION, PSI	-					
				PUNTO DE CEDENCIA	-					
				ELONGACION EN 2 in %	-					
				LABORATORIO DE PRUEBA No.	-					
Detalle de Junta										
										
NOMBRE DEL SOLDADOR				Ing. Alfonso Patarroyo		RELOJ No.	-	MARCA No.	3	
PRUEBA CONDUCTIDA POR				Ing. Alfonso Patarroyo		LABORATORIO	Empresa Sager - Fronius			
						NUMERO DE PRUEBA	1			
						PER	-			
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparados, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.										
				FIRMA	Ing. Alfonso Patarroyo					
				POR	-					
				TITULO	-					
				FECHA	10 de Febrero de 2015					

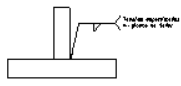
Anexo 3.

Formato 3. WPS proceso GMAW

Anexo 4.

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

Formato 4. PQR proceso GMAW

ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA WPS SL...											
PRECALIFICADO (...) CALIFICADO POR LA PRUEBA (...)											
REGISTRO DE PROCESO DE CALIFICACIÓN POR SL...											
PQR											
NOMBRE DE LA COMPAÑÍA		-		IDENTIFICACIÓN #	1		FECHA	09/02/2015		POR	Alfonso Patarroyo
PROCESO(S) DE SOLDADURA		GMAW		REVISIÓN	X		FECHA	09/02/2015		POR	Alfonso Patarroyo
SOPORTE PQR No.		2		AUTORIZADO POR	-		FECHA	09/02/2015		POR	Alfonso Patarroyo
DISEÑO DE JUNTA USADO		Filete		TIPO MANUAL			SEMIAUTOMÁTICO	X			
TIPO		T		MECANIZADO			AUTOMÁTICO				
SENCILLO	X	DOBLE SOLDADURA		POSICIÓN							
RESPALDO		-		POSICIÓN DEL CORDÓN		3F					
MATERIAL DE RESPALDO		-		FILETE		T					
APERTURA DE RAÍZ	-	MEDICIÓN CARA DE RAÍZ	-	PROGRESIÓN VERTICAL		SUBIENDO		BAJANDO		X	
ÁNGULO DEL CORDÓN	-	RADIO J - U	-	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS							
RANURA TRASERA		-		MODO DE TRANSFERENCIA		CORTO CIRCUITO		X			
MÉTODO		-		CORRIENTE		GLOBAL		SPRAY			
METALES BASE		-		FUENTE DE ALIMENTACIÓN		AC		DCEN			
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL		AWS A572		OTRO		DCEP		X		PULSO	
TIPO O GRADO		GRADO 50		ELECTRODO DE TUGSTENO GTAW		CC		X		CV	
ESPESOR		CORDÓN		TÉCNICA		MEDIDA		-		TIPO	
DIÁMETRO (PROBETA)		1" (2.54 cm)		TIRA O CORDÓN		-		-		-	
METAL DE RELLENO		X		MULTIPUNTO O MONOPUNTO (POR LADO)		-		-		-	
ESPECIFICACIÓN AWS		ER70S-6		NÚMERO DE ELECTRODOS		-		-		-	
CLASIFICACIÓN AWS		A5.18		DISTANCIA DEL ELECTRODO		LONGITUD		16 cm		-	
PROTECCIÓN FLUJO		IP 23		DISTANCIA DE TRABAJO DEL TUBO DE CONTACTO		LATERAL		-		-	
GAS		CO2		INCLINACIÓN		ÁNGULO		-		-	
COMPOSICIÓN		100%		INTERPASO DE LIMPIEZA		15 cm		-		-	
CAUDAL		18 (lts/min)		TRATAMIENTO TÉRMICO DE SOLDADURA		POST-		-		-	
FLUJO ELECTRODO		11,7 M/min		TEMPERATURA		-		-		-	
TAMAÑO BOQUILLA DE GAS		2 cm		TIEMPO		-		-		-	
PRECALENTAMIENTO		21									
TEMPERATURA MIN. PRECALENTAMIENTO		21									
TEMPERATURA DE PASO		MÍNIMA		108		MÁXIMO		153			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA											
CAPAS DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE RELLENO	CLASE	DIÁMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPERIOS Y VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE CABLE	VOLTAJE	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	DETALLES DE JUNTA		
1	GMAW	ER70S-6	8 mm	(+/-)	187 - 11,7	26	0,33 M/min	Raíz			
2	GMAW	ER70S-6	8 mm	(+/-)	204 - 10,8	23,8	0,36 M/min	Presentación			
REGISTRO DE PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN (PQR) #											
PRUEBA DE RESULTADOS											
ESPECIMEN No.	ANCHO	ESPESOR	AREA	ULTIMA CARGA A LA TENSION, LB	ULTIMA UNIDAD DE FATIGA, PSI	CARACTERÍSTICA DE LA FALLA Y UBICACIÓN					
-	-	-	-	-	-	-					
PRUEBA GUADADA DE DOBLES											
ESPECIMEN No.	TIPO DE DOBLEZ	RESULTADOS	REMARKADOS								
-	-	-	-								
INSPECCIÓN VISUAL											
APARIENCIA	Aceptable		EXÁMEN RADIOGRÁFICO Y ULTRASONICO		RT REPORTE No.	-	RESULTADO	-			
REBAJA	-				UT REPORTE No.	-	RESULTADO	-			
POROSIDADES TUBULAR	Ninguno				RESULTADOS DE LA PRUEBA SOLDADURA EN FILETE						
CONVEXIDAD	-				MÍNIMA MEDIDA DE PASO MÚLTIPLE MACROETCH			MÁXIMA MEDIDA DE PASO MACROETCH			
FECHA DE PRUEBA	10 de Febrero de 2015				1	2	3	1	2	3	
TODAS LAS PRUEBAS DE TENSION DE LOS METALES SOLDADOS											
TESTIGO					FUERZA DE TENSION, PSI	-					
						PUNTO DE CEDENCIA	-				
						ELONGACION EN 2in %	-				
						LABORATORIO DE PRUEBA No.	-				
Detalle de junta											
											
NOMBRE DEL SOLDADOR		Ing. Alfonso Patarroyo				RELOJ No.	-	MARCA No.	1		
PRUEBA CONDUCTA POR		Ing. Alfonso Patarroyo				LABORATORIO	Empresa Sager - Fronius				
						NÚMERO DE PRUEBA	2				
						PER	-				
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas, y probadas en conformidad con lo dispuesto en la cláusula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.											
						FIRMA	Ing. Alfonso Patarroyo				
						POR	-				
						TÍTULO	-				
						FECHA	10 de Febrero de 2015				

Anexo 5.

9 CAPÍTULO IX

9.1 PRUEBAS

Existe actualmente una gran variedad de procesos que sirven para inspeccionar uniones y piezas soldadas; dentro de los que se pueden encontrar “ensayos destructivos” y “No destructivos”, cada uno permitiendo la detección de discontinuidades brindando información sobre la condición y calidad de la soldadura. Estas pruebas pueden aplicarse a una gran gama de industrias como pueden ser la petroquímica, naval, automotriz, aeronáutica y de la construcción, dando confiabilidad del proceso realizado.

Las condiciones para determinar la prueba a realizar tanto destructiva como no destructiva, dependerá de 2 factores como son:

- Condiciones del material de prueba, (Soporte en edificaciones ya soldadas).
- Solicitud del ingeniero encargado.

El costo que genera una soldadura no inspeccionada puede ser incalculable, debido a que al presentar defectos en su producción con el mínimo sometimiento de cargas puede presentar fallas. Dentro de los END²⁷ se encuentran diversos métodos que proporcionan información útil y de gran importancia en la industria; se pueden especificar de la siguiente manera:

- a) Inspección Visual (VT²⁸)
 - Imperfecciones visuales
 - Dimensión del cordón de soldadura
 - Porosidades
 - Socavaciones
 - Concavidad
- b) Líquidos Penetrantes (PT²⁹)
- c) Partículas Magnéticas (MT³⁰)
- d) Radiografía o Rayos X (RT³¹)
 - Técnica de pared simple
 - Técnica de pared doble vista
 - Técnica de pared doble vista doble
 - Técnica de exposición panorámico
- e) Ultrasonido

²⁷ END: Ensayos No Destructivos

²⁸ VT: Visual Testing

²⁹ PT: Penetrant Liquids Testing

³⁰ MT: Magnetic Testing

³¹ RT: Radiographic Testing

Tabla 17. Discontinuidades que detectan los Ensayos No Destructivos

Tipo de ensayo no destructivo	Discontinuidad que detecta
Inspección visual	Sobremonta, salpicadura, concavidad, grietas, traslape
Partículas magnéticas	Socavaduras y grietas
Líquidos penetrantes	Socavaduras y grietas
Rayos x	Falta de fusión, penetración excesiva, grietas, inclusiones
Ultrasonido	Falta de fusión, grietas, porosidad, inclusiones, laminación

Fuente: (TC Tecnicontrol, Una empresa Bureau Veritas)³²

Aunque en la realización de pruebas destructivas se afecte el material, estas son consideradas igual de importantes a los END, permitiendo al inspector tener un contacto más directo a la calidad de la soldadura interna; dentro de este tipo de ensayos se pueden encontrar la siguiente clasificación:

- a) Ensayo de resistencia a la tensión
 - Resistencia a la tensión máxima
 - Esfuerzo de cadencia
 - Porcentaje de elongación
 - Porcentaje de reducción de área
- b) Ensayo de resistencia al dobléz
 - Doblez de cara
 - Doblez de raíz
 - Doblez lateral
- c) Ensayo de Nick-Break
- d) Ensayo de resistencia al impacto
- e) Ensayo de dureza
 - Dureza Brinell
 - Dureza Rockwell
 - Micro dureza

Todas las pruebas realizadas independientemente de quien las realice tanto para empresas públicas como privadas se deben cobijar bajo los siguientes códigos:

- AWS D1.1 (Structural Welding Code Steel),
- ASME SECC IX (Boiler Pressure Vessel Code and Brazing Qualifications)
- API 1104 (Standard for Welding Pipelines and Related Facilities).

³² TC Tecnicontrol, Una empresa Bureau Veritas. (s.f.). Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de Ensayos No Destructivos (END) Convencionales: <http://portal.tc.com.co/tecnicontrol/ensayos-no-destructivos/tradicionales>

En el desarrollo del proyecto se consideró realizar pruebas destructivas como no destructivas conforme al código AWS D1.1, esto con el fin de validar una buena penetración de la soldadura tanto en el proceso SMAW con progresión ascendente, como con el proceso GMAW con progresión descendente.

9.1.1 EVIDENCIAS DE PRUEBAS REALIZADAS

9.1.1.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

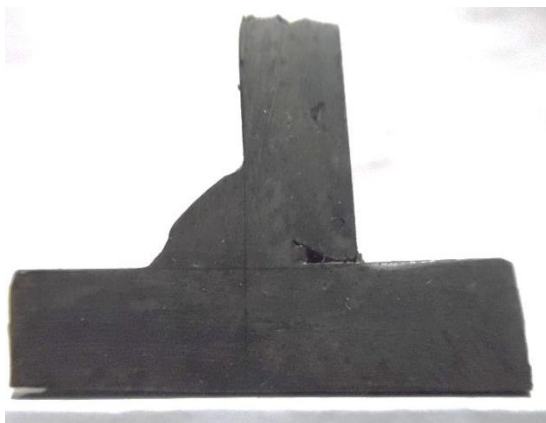
Fotografía 14. Control de temperatura entre pases.



Fotografía 15. Discontinuidades visibles.



Fotografía 16. Inspección visual: Inexistencia de concavidad.



Fotografía 17. Inspección visual: Inexistencia de porosidad y socavaciones.



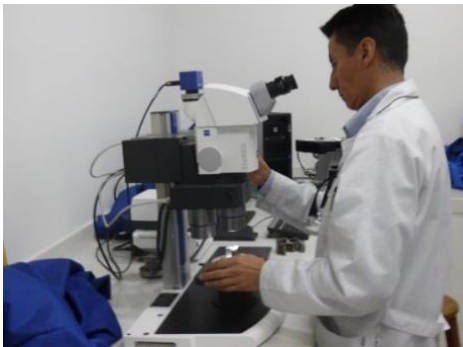
Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Lista de ensayos no destructivos realizadas

- Control de temperatura entre pases y de precalentamiento
- Inspección visual presentación del cordón
- Inspección visual presencia de socavaciones
- Diseño del cordón

9.1.1.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

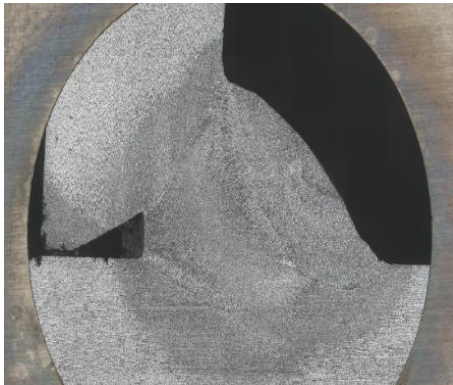
Fotografía 18. Prueba de metalografía.



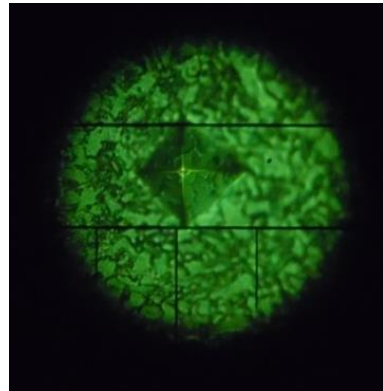
Fotografía 19. Prueba de dureza.



Fotografía 20. Evidencia metalográfica.



Fotografía 21. Prueba de micro dureza.



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

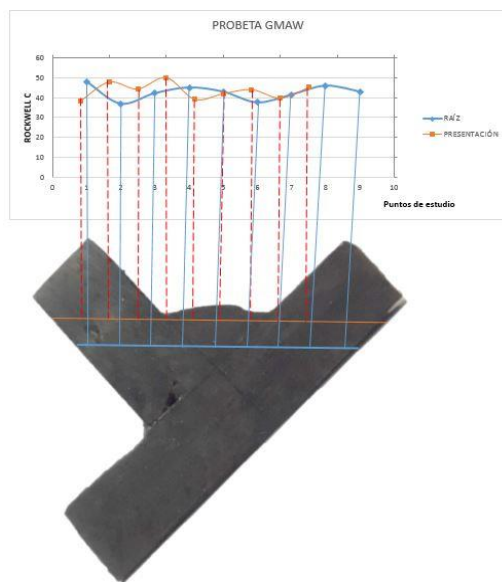
Lista de ensayos destructivos realizados:

- Pruebas de dureza
- Pruebas de micro dureza
- Pruebas de metalografía
- Cortes seccionales del metal de prueba

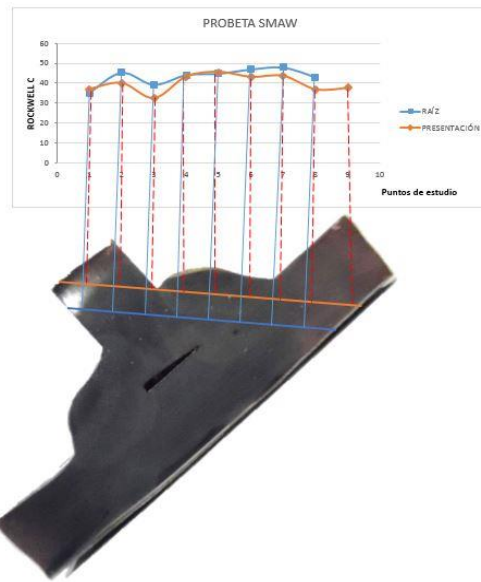
9.2 PRUEBAS DE DUREZAS

La prueba de dureza, se puede definir como un método que cuantifica la resistencia de la superficie de un material al ser deformado debido a esfuerzos externos sin que éste sufra deformaciones. De los análisis obtenidos, se puede caracterizar el comportamiento de las propiedades mecánicas de un material ante los distintos tratamientos térmicos que se le aplicaron, por lo cual se realizan las pruebas obteniendo los siguientes resultados descritos en el Anexo 6.

Gráfica 1. Perfil Dureza probeta GMAW (Raíz – Presentación)



Gráfica 2. Perfil Dureza probeta SMAW (Raíz – Presentación)



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

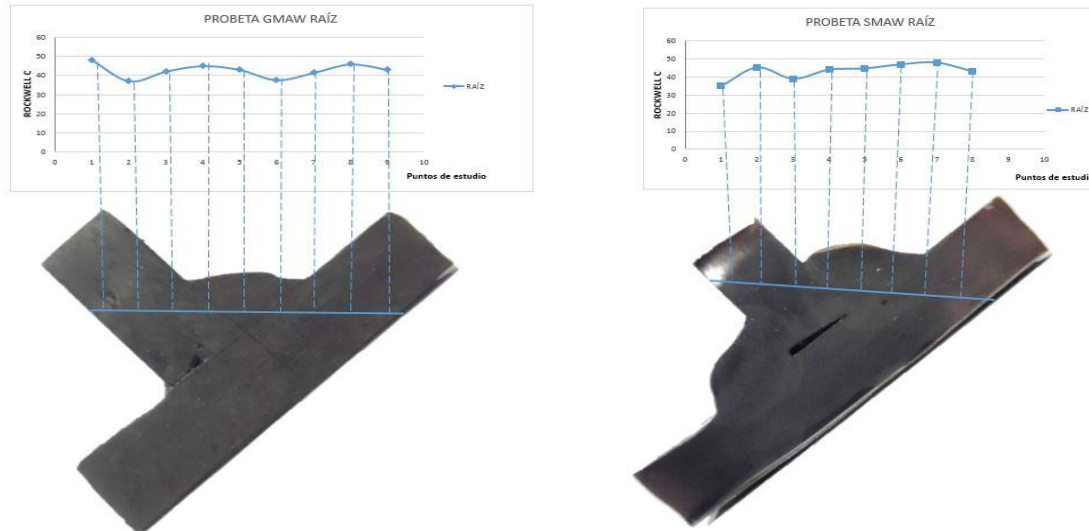
Tabla 18. Tabla porcentaje similitud SMAW - GMAW

% SIMILITUD SMAW - GMAW			
PUNTO	RAÍZ	PRESENTACIÓN	METAL
1	73%	96%	BASE
2	82%	84%	
3	93%	73%	APORTE
4	98%	86%	
5	96%	86%	
6	80%	98%	
7	86%	99%	BASE
8	93%	92%	
9	100%	83%	

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

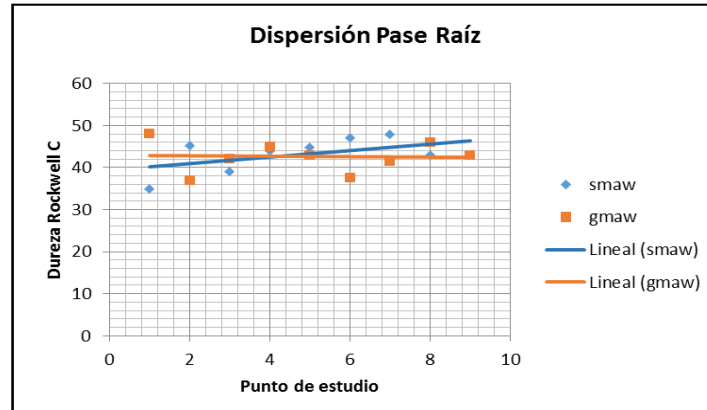
Durezas analizadas en el pase de raíz, Anexo 7:

Gráfica 3. Dureza probeta GMAW Raíz Gráfica 4. Dureza probeta SMAW Raíz



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Gráfica 5. Dispersión de pase de Raíz

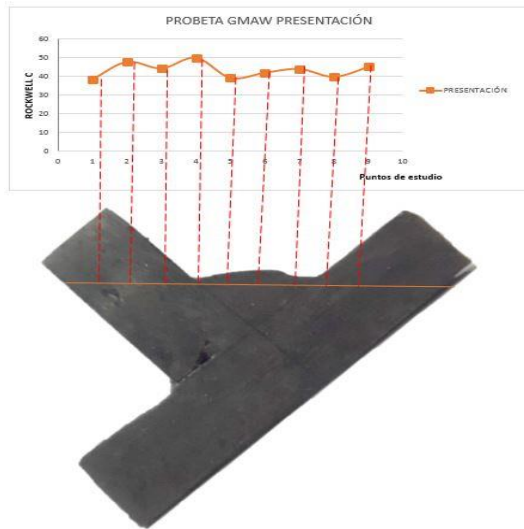


Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

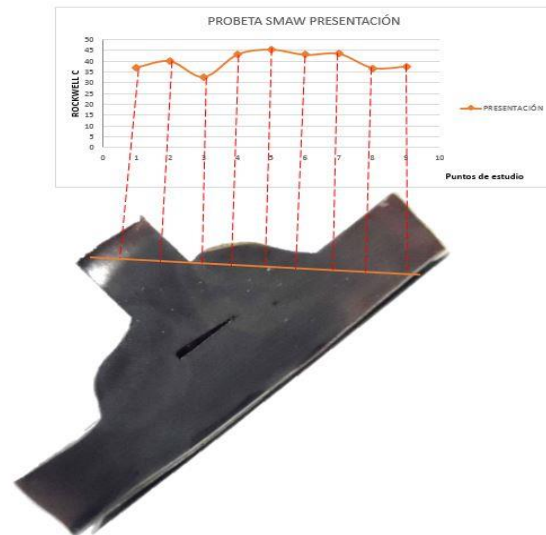
Al realizar la comparación entre los dos procesos (GMAW - SMAW), en el pase de raíz se puede evidenciar para el proceso de soldadura SMAW un aumento de la dureza en la zona afectada por el calor en el límite de la soldadura y el metal base, caso que puede generar posibles susceptibilidades en el metal base ocasionando fallas. Para el proceso de soldadura GMAW, se puede evidenciar que la dureza presenta una tendencia a permanecer estable en la línea de estudio, hecho que ocurre debido al manejar un solo tipo de material de aporte y una velocidad de deposición constante comparada con el proceso de soldadura SMAW, condiciones que permite la técnica 3F en progresión descendente.

Durezas analizadas en el pase de presentación, Anexo 8:

Gráfica 6. Dureza probeta GMAW Presentación

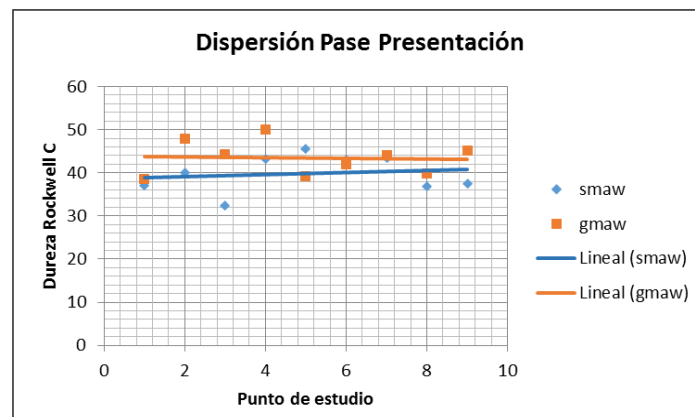


Gráfica 7. Dureza probeta SMAW Presentación



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Gráfica 8. Dispersión de pase de Presentación



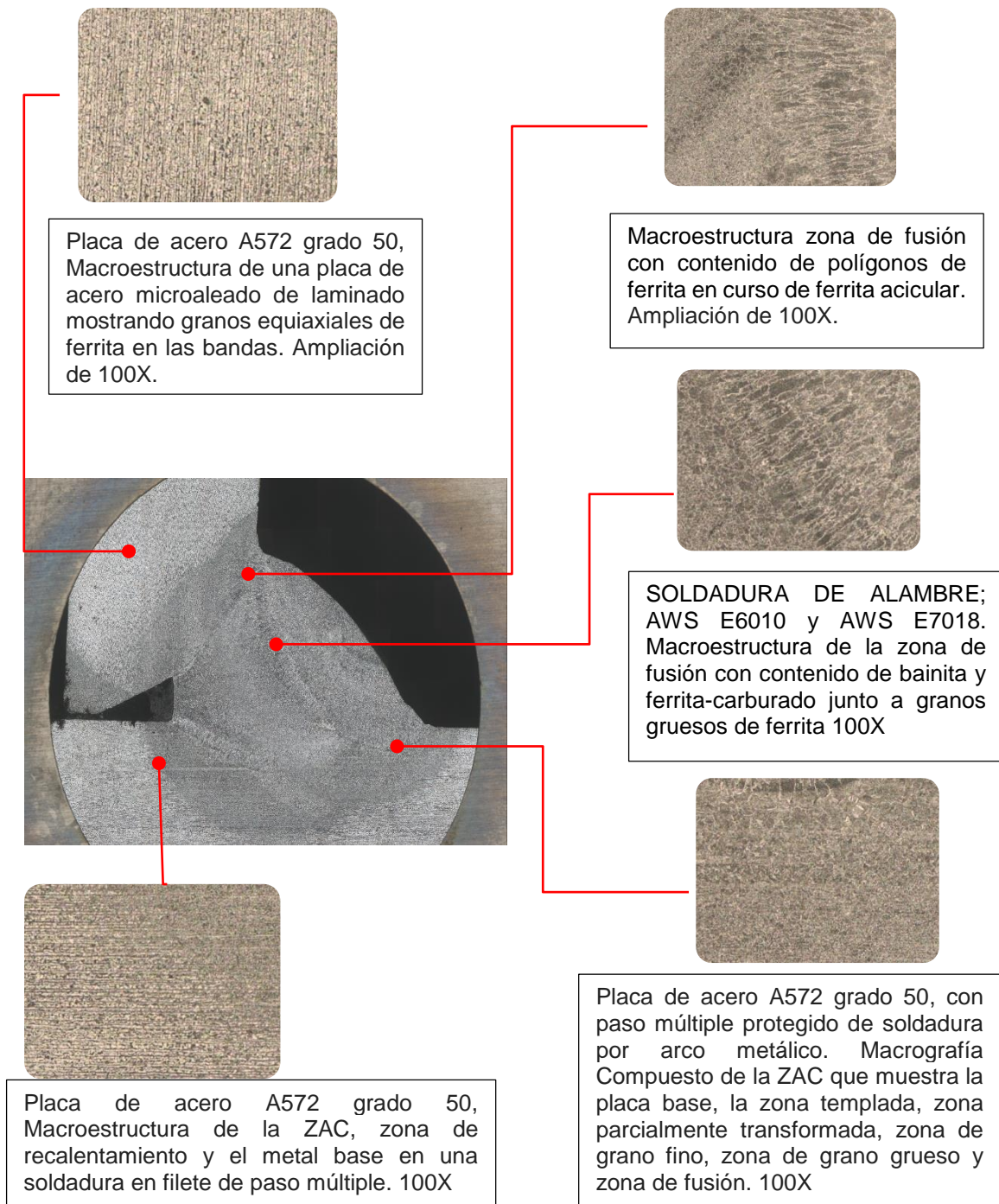
Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Comparando los procesos en estudio, en el pase de presentación se puede evidenciar que para el proceso de soldadura GMAW la dureza presenta una tendencia a permanecer estable en comparación al proceso de soldadura SMAW; es de resaltar que las condiciones del pase de presentación no sólo permite generar una buena apariencia del cordón o una debida protección de factores externos, sino que también realiza un tratamiento térmico de revenido al pase de raíz, influenciando así en propiedades como la dureza y factores químicos y metalúrgicos en todo el cordón.

9.3 PRUEBAS DE METALOGRAFÍA

Anexo 9.

Diagrama 3. Análisis metalográfico soldadura SMAW



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Anexo 10.

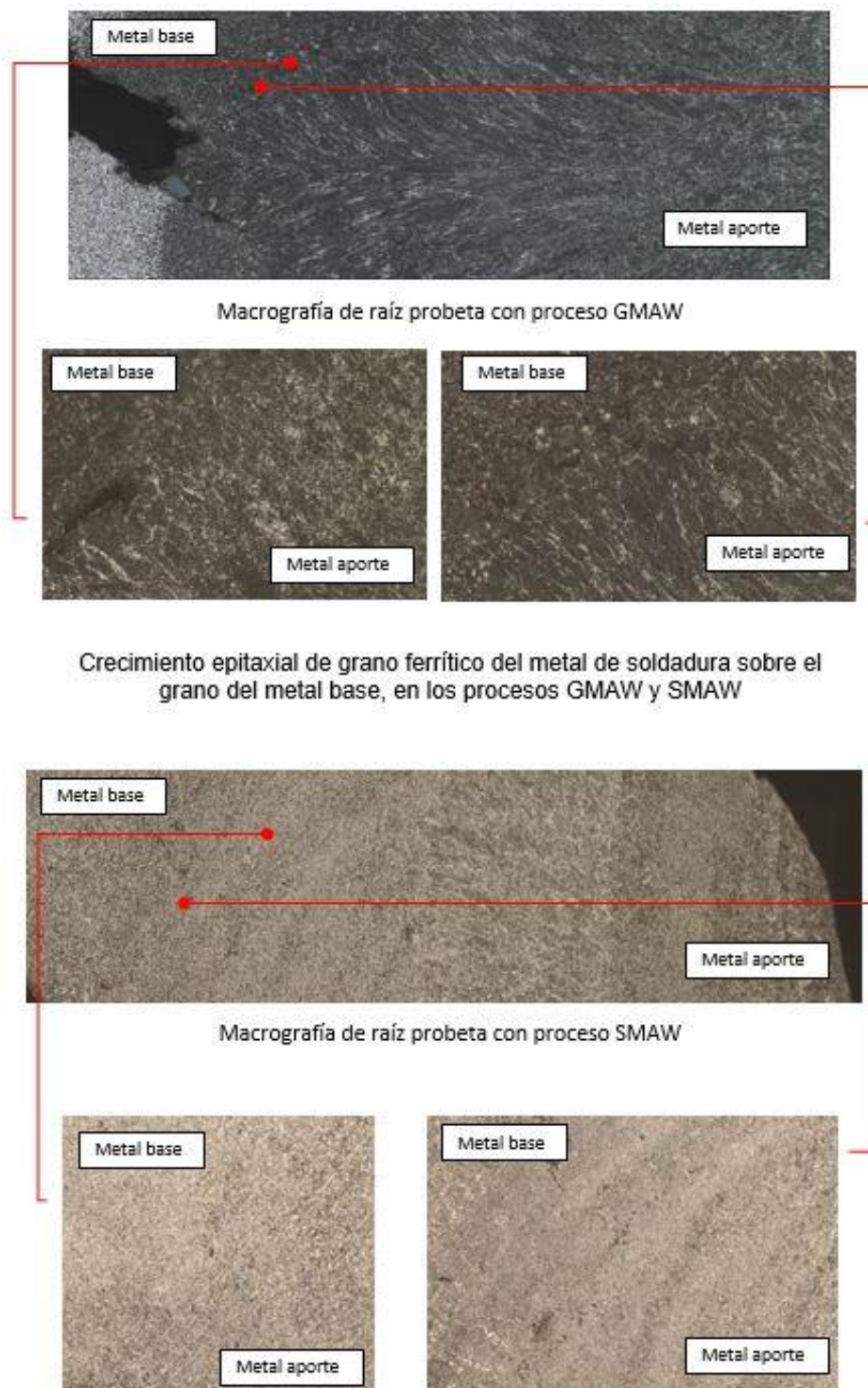
Diagrama 4. Análisis metalográfico soldadura GMAW



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

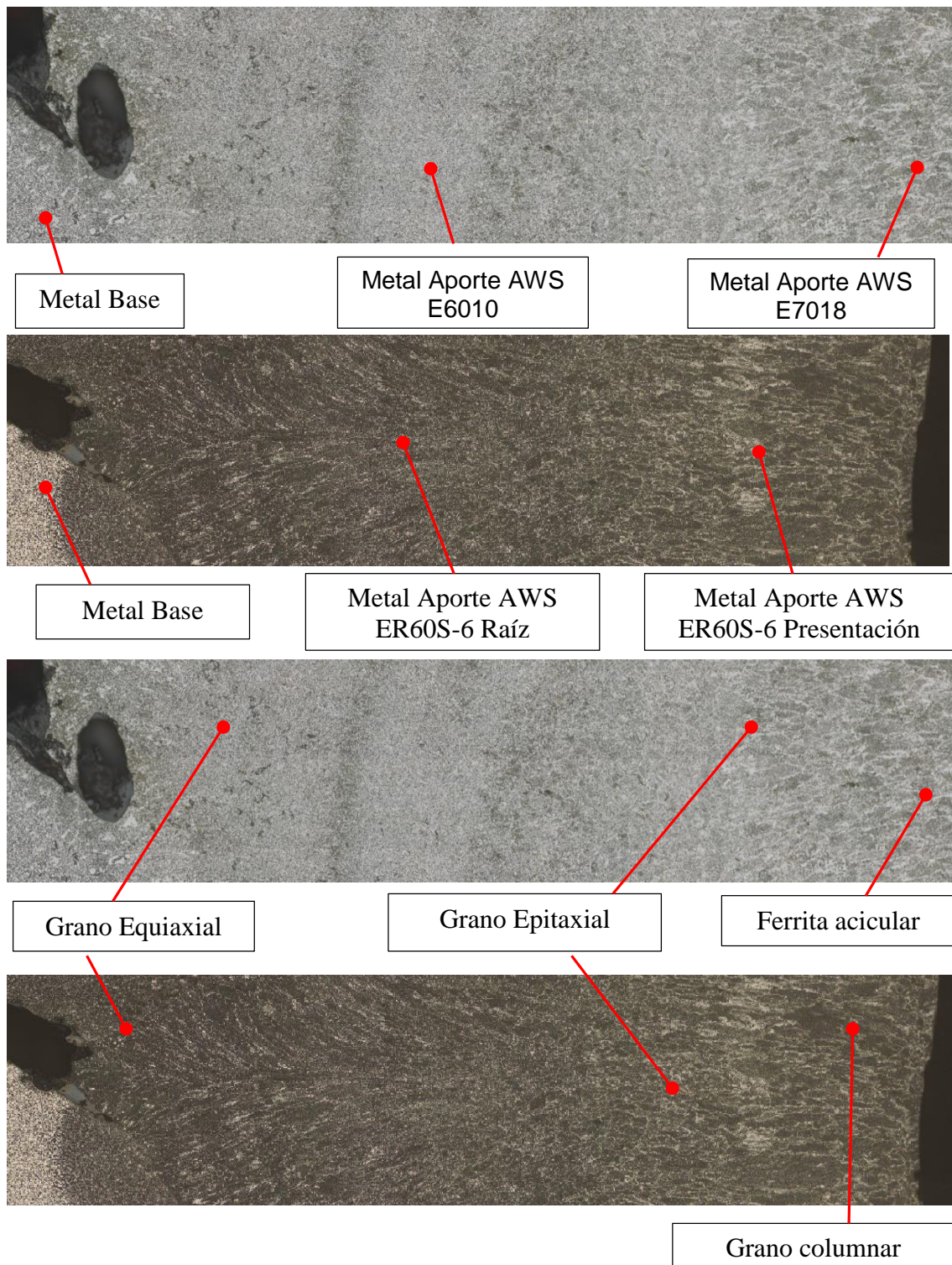
Anexo 11 y 12.

Diagrama 5. Análisis metalográfico en pase de raíz soldadura GMAW – SMAW



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Diagrama 6. Análisis metalográfico en pase de raíz y presentación soldadura GMAW – SMAW



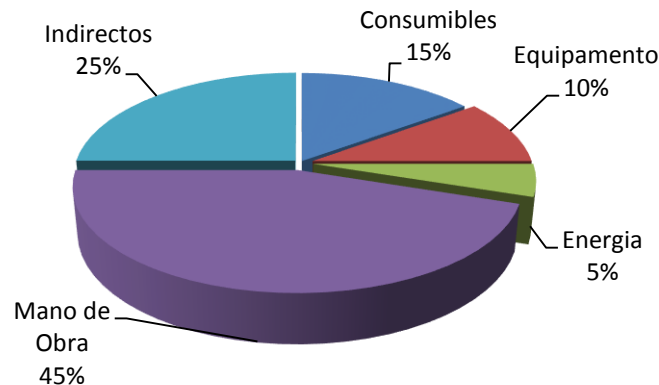
Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

10 CAPITULO X

10.1 FACTOR ECONÓMICO

Cada trabajo de soldadura sin clasificar por proceso posee unas exigencias económicas determinantes, factores como es la mano de obra, material consumido, eficiencia del proceso entre otras se vuelven concluyentes a nivel industrial. El factor económico ha sido y será siempre el factor que decidirá la viabilidad de un proyecto, en el campo de las estructuras metálicas los costos que generan la soldadura, indirectos “costos de contratación (ARL, EPS, ARP, Exámenes médicos) y dotación” la mano de obra son los de mayor porcentaje en las construcciones, evidentes en la siguiente gráfica:

Gráfica 9. Porcentajes implicados en un proceso de soldadura



Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Teniendo en cuenta lo anterior las empresas se empiezan a inclinar a procesos semiautomáticos o mejor aún a procesos robotizados, debido a una visible eficiencia que estos procesos poseen con respecto a procesos manuales, como son los siguientes:

Tabla 19. Eficiencia de Deposición

EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN	
SMAW	60%
GMAW	91%

Fuente: (Profesor Ingeniero Alexis Tejedor De León, 2013)³³

³³ Profesor Ingeniero Alexis Tejedor De León, P. (24 de Abril de 2013). *Estimación de los Costos de la Soldadura Eléctrica*. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net/atejedor/costos-en-la-soldadura>

La eficiencia de deposición se define como la razón entre el peso de metal depositado y el peso del electrodo, en este caso el proceso SMAW posee una eficiencia del 60%, derivado de las escorias que equivalen a un 12%; comparado con el proceso semiautomático que posee una eficiencia de deposición del 91% derivado de las pérdidas por escoria 2%, permitiendo visualizar las excelentes características del proceso GMAW.

Tabla 20. Factor de Operación

FACTOR DE OPERACIÓN	
SMAW	30%
GMAW	60%

Fuente: (Profesor Ingeniero Alexis Tejedor De León, 2013)

El factor de operación se puede definir como la relación que existe entre el tiempo en que ha existido el arco y el tiempo total de apagado, condición que permite diferenciar a su vez el tiempo en que es aplicable el proceso en un cordón de soldadura; caso es el del proceso SMAW que posee un factor del 30% debido a que no es un proceso continuo, se presentan mayor inconvenientes en el proceso y depende a su vez mucho de las condiciones del soldador; comparación a este el proceso GMAW posee un factor del 60% dos veces más que el proceso SMAW, esto debido a que es un proceso continuo no necesita estar cambiando el electrodo, no necesita limpieza o eliminación de escoria y no se necesita de excelentes habilidades del soldador, factores que hacen de este proceso ideal para el área industrial.

Otros factores como los costos de tiempo que se pueden incluir en un proceso de soldadura, el factor de Mano de Obra e indirectos se consideran los más relevantes evidentes por los siguientes procesos:

- Tiempo para la preparación de la junta.
- Tiempo de posicionamiento para el ensamble de la junta.
- Tiempo para el punteo (Tacking).
- Tiempo para la soldadura.
- Tiempo para el reposicionamiento.
- Tiempo de limpieza.
- Tiempo para la inspección de soldadura.
- Tiempo para la reparación de la soldadura.
-

Estos tiempos que incluye un proceso de soldadura se deben también a variables como:

Tabla 21. Tabla de variables implicadas en un proceso de soldadura

Tiempo soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Posición de la soldadura. • Parámetros de la soldadura. • Habilidades del soldador. • Forma de la costura deseada y calidad • Tasa de depósito del electrodo • Tipo de electrodo utilizado.
Tiempo de limpieza	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de soldadura • Tipo de gas de protección • Habilidad del soldador • Apariencia deseada de soldadura (remoción de escoria y depósitos) • Tipo de electrodo deseado
Calidad de la soldadura y reparaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Ensamble de la junta • Parámetros de la soldadura • Condiciones de la superficie del metal base • Habilidad del soldador • Características de fusión y arco del electrodo • Tipo de electrodo utilizado

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

La implementación en el mercado de nuevas tecnologías para la industria de la construcción, más específicamente en el campo de la soldadura y sus fuentes de alimentación, se han realizado debido a la búsqueda de mejores condiciones de trabajo, reducir costos, maximizar la eficiencia del proceso empezando desde la misma fuente de alimentación, las condiciones del alambre entre otras muchas otras.

Buscar la manera de ahorrar se vuelve diariamente en una idea que las empresas buscan, por lo cual realizar comparación entre procesos se vuelve común, teniendo en cuenta esto se realiza una comparación de costos entre los procesos SMAW y GMAW, presentados a través de los siguientes cálculos:

Ecuación 5. Ecuación Área de Sección Transversal

$$AST = \frac{S^2}{2}$$

Ecuación 6. Ecuación Peso de Metal Depositado

$$PMD = AST.L.Y$$

AST: Área de Sección Transversal	PMD: Peso de Metal Depositado L: Longitud del cordón γ = Densidad de la aleación
<p>Ecuación 7. Ecuación Tasa de Deposito</p> $VD = \frac{PMD}{L}$ <p>VD: Tasa de deposito VA: Velocidad de avance</p>	<p>Ecuación 8. Tiempo de Arco</p> $TA = \frac{PMD}{VD}$ <p>TA: Tiempo de arco</p>
<p>Ecuación 9. Ecuación Costo Mano de Obra</p> $CMO = \frac{PMD \cdot VMO}{VD \cdot FO} \cdot 100$ <p>CMO: Costo Mano de Obra VMO: Valor Mano de Obra FO: Factor de Operación</p>	<p>Ecuación 10. Ecuación Costo del Electrodo</p> $CE = \frac{PMD \cdot VE}{ED} \cdot 100$ <p>CE: Costo del electrodo VE: Valor del electrodo ED: Eficiencia del electrodo</p>

Fuente: (INDURA, 2007)³⁴

Solución de ecuaciones:

a) AST

$$AST = \frac{(0,009m)^2}{2}$$

$$AST = 0,0000405m^2$$

Valor obtenido es aplicable para el proceso GMAW como para el proceso SMAW, debido a las condiciones físicas del cordón de soldadura

b) PSM

³⁴ INDURA. (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Recuperado el 2015, de http://www.indura.net/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf

$$PMD = ((0,0000405m^2).(1m).(7800 \frac{Kg}{m^3}))$$

$$PMD = 0,3159Kg$$

Valor obtenido es aplicable para el proceso GMAW como para el proceso SMAW, debido a las condiciones físicas del cordón de soldadura

c) VD

$$VD_{gmaW} = ((0,3159Kg).(0,46 \frac{m}{min})) \quad VD_{smaW} = ((0,3159Kg).(0,42 \frac{m}{min}))$$

$$VD_{gmaW} = 0,145(\frac{Kg.m}{min}) \quad VD_{smaW} = 0,132(\frac{Kg.m}{min})$$

d) TA

$$TA_{gmaW} = \frac{0,3159Kg}{0,145(\frac{Kg.m}{min})}$$

$$TA_{gmaW} = 2,1786 \text{ min}$$

$$TA_{smaW} = \frac{0,3159Kg}{0,132(\frac{Kg.m}{min})}$$

$$TA_{smaW} = 2,393 \text{ min}$$

e) CMO

$$CMO_{gmaW} = \frac{(0,3159Kg).(10.125 \frac{\$}{Hr})}{(8,682 \frac{Kg}{Hr}).(60\%)} .100 \quad CMO_{smaW} = \frac{(0,3159Kg).(10.125 \frac{\$}{Hr})}{(7,904 \frac{Kg}{Hr}).(30\%)} .100$$

$$CMO_{gmaW} = \$61,400$$

$$CMO_{smaW} = \$134.888$$

f) CE

$$CE_{gmaW} = \frac{(0,3159Kg).(\$8.200)}{91\%} .100 \quad CE_{smaW} = \frac{(0,3159Kg).(\$9.000)}{60\%} .100$$

$$CE_{gmaW} = \$284.657$$

$$CE_{smaW} = \$473.850$$

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

Teniendo en cuenta las anteriores operaciones se puede resumir los siguientes resultados

Tabla 22. Análisis Económico para el desarrollo de los procesos GMAW y SMAW en la ejecución del proyecto

	GMAW		SMAW		COSTO GMAW	COSTO SMAW
Material Utilizado	0,35346086	Kg	0,564408	Kg	\$ 2.898,38	\$ 5.079,67
Gas Utilizado	0,0207	m3	0	m3	\$ 53,82	\$ -
Energía Utilizada	69	KWS	138	KWS	\$ 6,75	\$ 14,11
Mano de Obra	2,13	\$/Seg	4,68	\$/Seg	\$ 146,97	\$ 645,84
Valor Maquina	69	Seg	138	Seg	\$ 17,30	\$ 15,97
TOTAL					\$ 3.123,22	\$ 5.755,59

Fuente: Información suministrada por los autores del proyecto

En la elaboración del análisis económico, respecto al proceso realizado en la ejecución de la tesis, las variables tomadas como fundamentales son:

- **Material utilizado:** tomado de considerar la suma del material perdido por salpicadura, más el material perdido por eficiencia del proceso adicional al material utilizado en el cordón.
- **Gas utilizado:** Valor tomado por los metros cúbicos empleados en el tiempo de ejecución
- **Energía utilizada:** Valor considerado como KWS por el tiempo de ejecución de empleo en cada proceso.
- **Mano de obra:** El valor estimado se determinó bajo el sueldo promedio que un operario de soldadura gana en cada proceso, determinado por unidad de tiempo en segundos. Para el proceso GMAW en segundos es (\$2,13) y para el proceso SMAW es (\$4,68).
- **Valor de la maquina:** El valor de la maquina refiere al valor por cada unidad de tiempo que se vaya a emplear, con el fin de recuperar el valor invertido de la maquina; para el proceso GMAW la inversión es de (\$13.000.000) y para el proceso SMAW de (\$6.000.000) en un lapso de 5 años de ejemplo.

Observando el total de costos de las variables tomadas, se determina una diferencia de (\$2.632,37) entre el proceso GMAW Vs. SMAW siendo el proceso semiautomático GMAW el más económico.

Tabla 23. Análisis Económico del Proceso SMAW

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

SMAW									
Proyectos	Mts	Tiempo	Fecha inicio	fecha fin	Costo	VALOR DEL PROYECTO	BENEFICIO	VPN	TIR
Pequeño	1000	24	01/01/2015	24/01/2015	\$ (28.777.954)	\$ 30.963.708	\$ 2.185.753	\$ 30.897.872	2,20
Mediano	2000	48	01/01/2015	17/02/2015	\$ (57.555.909)	\$ 61.927.416	\$ 4.371.507	\$ 61.664.351	0,77
Grande 1	5000	120	01/01/2015	30/04/2015	\$ (143.889.772)	\$ 154.818.539	\$ 10.928.767	\$ 153.179.618	0,25
Grande 2	12000	288	01/01/2015	15/10/2015	\$ (345.335.453)	\$ 371.564.494	\$ 26.229.040	\$ 362.194.166	0,10

Tabla 24. Análisis Económico del Proceso GMAW

GMAW									
Proyectos	Mts	Tiempo	Fecha inicio	fecha fin	Costo	VALOR DEL PROYECTO	BENEFICIO	VPN	TIR
Pequeño	1000	12	01/01/2015	12/01/2015	\$ (15.616.095)	\$ 16.802.174	\$ 1.186.079	\$ 16.784.302	10,35
Mediano	2000	24	01/01/2015	24/01/2015	\$ (31.232.189)	\$ 33.604.348	\$ 2.372.158	\$ 33.532.897	2,20
Grande 1	5000	60	01/01/2015	01/03/2015	\$ (78.080.473)	\$ 84.010.869	\$ 5.930.396	\$ 83.565.013	0,57
Grande 2	12000	144	01/01/2015	24/05/2015	\$ (187.393.136)	\$ 201.626.086	\$ 14.232.950	\$ 199.067.490	0,21

Para determinar la rentabilidad de los procesos en estudio, se busca comparar los VPN (Valores Absolutos Netos) y el TIR (Tasa de Interés de Retorno) del proceso GMAW y el proceso SMAW. En el estudio se realizan ejemplos de cuatro tipos de proyectos con una cantidad de metros de soldadura diferentes en cada uno de ellos; los referentes en tiempo y consumibles se basan en los resultados obtenidos en el desarrollo de los 20 cm de las probetas anteriormente estudiadas. La tasa de descuento manejada en la desvalorización del dinero es de 3.25, basado en estudios del grupo bancario Helm Bank.

A continuación se puede visualizar los siguientes comportamientos del VPN y TIR respectivamente:

- Para un proyecto pequeño:
 - En la realización del proyecto con el proceso SMAW, se desea soldar 1000 metros, en los que se emplean 24 días laborales (01/01/2015 – 24/01/2015), de \$28.777.954. Basándose en el porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de \$30.963.708, generando un beneficio total para la empresa de \$2.185.753; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$30.897.872 con un TIR del 2,2%, representando un buen porcentaje de ganancias para el proceso SMAW.
 - En la realización del proyecto con el proceso GMAW, se pretende soldar 1000 metros en los que se emplean 12 días laborales (01/01/2015 – 12/01/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$15.616.095. Basándose en el porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de

\$16.802.174, generando un beneficio total para la empresa de \$1.186.079; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$16.784.302 con un TIR del 10,35%, representando un excelente porcentaje de ganancias para una empresa al utilizar el proceso GMAW.

- Para un proyecto mediano:
 - En comparación a la realización de un proyecto pequeño, el desarrollo de un proyecto mediano con el proceso SMAW, difiere en resultados del VPN y TIR, ejemplo de esto es el siguiente: se desea soldar 2.000 metros de los cuales se emplean 48 días laborales (01/01/2015 – 17/02/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$57.555.909. Basándose en el porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de \$61.927.416, generando un beneficio total para la empresa de \$4.371.507; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$61.664.351 con un TIR del 0,77%, representando un buen porcentaje de ganancias para el proceso SMAW.
 - Para la elaboración del proyecto de proyecciones medianas con el proceso GMAW, se pretende soldar 2.000 metros de los cuales se emplean 24 días laborales (01/01/2015 – 24/01/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$31.232.189. Basándose en el porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de \$33.604.348, generando un beneficio total para la empresa de \$2.372.158; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$33.532.897 con un TIR del 2,20%, representando un excelente porcentaje de ganancias para una empresa al utilizar el proceso GMAW.
- Para un proyecto grande (1):
 - Para poder visualizar la comparación entre procesos, se desarrolla un proyecto de grandes dimensiones; con el proceso SMAW, el cual se desea soldar la longitud de 5.000 metros, empleando 120 días laborales (01/01/2015 – 30/04/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$143.889.772. Basándose al igual que con los proyectos anteriores el porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager es del 8%, el proyecto tendría un costo de \$154.818.539, generando un beneficio total para la empresa de \$10.928.767; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de

\$153.179.618 con un TIR del 0,25%, representando un buen porcentaje de ganancias para el proceso SMAW.

- Utilizando el proceso GMAW, se busca soldar 5.000 metros empleando 60 días laborales (01/01/2015 – 01/03/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$78.080.473. Con un porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de \$84.010.869, generando un beneficio total para la empresa de \$5.930.396; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$83.565.013 con un TIR del 0,57%, representando un excelente porcentaje de ganancias para una empresa al utilizar el proceso GMAW.
- Para un proyecto grande (2):
 - Para finalizar un mejor comparación entre los dos procesos de estudio, se desarrolla la simulación en un proyecto de grandes dimensiones; con el proceso SMAW, se desea soldar la longitud de 12.000 metros de los que se emplean 288 días laborales (01/01/2015 – 15/10/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$345.335.453. Basándose al igual que con los proyectos anteriores el porcentaje de beneficios de la empresa Fronius – Sager corresponde al 8%, el proyecto tendría un costo de \$371.564.494, generando un beneficio total para la empresa de \$26.229.040; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$362.194.166 con un TIR del 0,10%, representando un buen porcentaje de ganancias para el proceso SMAW.
 - Utilizando el proceso GMAW, se busca soldar 12.000 metros empleando 144 días laborales (01/01/2015 – 24/05/2015), generando un costo estimado en equipamientos, indirectos, mano de obra, energía y consumibles de \$187.393.136. Con un porcentaje de beneficios que maneja la empresa Fronius – Sager del 8%, el proyecto tendría un costo de \$201.626.086, generando un beneficio total para la empresa de \$14.232.950; representado en el VPN para el tiempo de ejecución del proyecto un valor de \$199.067.490 con un TIR del 0,21%, representando un excelente porcentaje de ganancias para una empresa al utilizar el proceso GMAW.

En relación al resumen de los VPN y TIR obtenido en simulaciones de varias versiones de proyectos (pequeño, mediano, grande (1) y grande (2)). Se puede visualizar la siguiente comparación:

PROCESO	SMAW		GMAW
	TIR		TIR
PEQUEÑO	2,2	<	10,35
MEDIANO	0,77	<	2,2
GRANDE 1	0,25	<	0,57
GRANDE 2	0,1	<	0,21

Tabla 25. Comparación de porcentajes TIR

PROCESO	SMAW		GMAW
	VPN		VPN
PEQUEÑO	\$ 30.897.872	>	\$ 16.784.302
MEDIANO	\$ 61.664.351	>	\$ 33.532.897
GRANDE 1	\$ 135.179.618	>	\$ 83.565.013
GRANDE 2	\$ 362.194.166	>	\$ 199.067.490

Tabla 26. Comparación de valores VPN

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la simulación, se puede visualizar una constante entre la comparación de los procesos siendo siempre el porcentaje del proceso GMAW mayor, representando la mejor condición para obtener beneficios y garantías de rentabilidad; pero al tomar los resultados de los VPN'S se obtiene que el proceso SMAW es mayor, aun así los valores de los procesos en estudio al ser positivos representan rentabilidad en el desarrollo de proyectos con estas metodologías, pero al desear tomar uno que represente mayor rentabilidad el proceso GMAW cumple con condiciones de inversión y retribución.

11 CAPITULO XI

11.1 FACTOR AMBIENTAL

En la actualidad el problema ambiental por el que está pasando el planeta, ha hecho pensar los métodos que se están usando diariamente determinando si son causantes o no del problema, debido a esto se ha buscado reducir en lo posible el mayor porcentaje de contaminantes a nivel industrial, enmarcando áreas como lo es la automotriz, alimentos, construcción, minera y aseo. Debido a esto toda investigación o modificación que se haga a los productos, servicios o actividades existentes son acoplados a todos los campos de aplicación.

En el área de la construcción muchas son las variables que pueden contaminar como lo es el ruido, emisión de gases, agua contaminada y los desechos de material, siendo este uno de los factores contaminantes que menos relevancia se le brinda en las construcciones, debido a que los residuos generados como son la escoria del material de aporte que con su bajo peso y casi desapercibida existencia en un proyecto de poca duración, a nivel de mega proyectos se vuelve un factor determinante que puede llegar a ser uno de los más contaminantes y de los de menos control que se pueden presentar.

El SMAW como proceso de soldadura es uno de los procesos más utilizados actualmente en los proyectos de construcción soldadas, pero es un proceso que posee una eficiencia por electrodo del 60%, adicional a esto presenta una pérdida por salpicaduras del 12%; caso contrario se presenta en el proceso GMAW que posee una eficiencia del 91% y un 2% de pérdida en salpicadura, esta gran diferencia entre estos dos procesos de soldadura a nivel de pocos metros de aplicación puede llegar a ser indiferente pero a niveles de más cantidad de material esta diferencia puede afectar no solo el factor ambiental sino también el económico.

Ejemplo:

Un proyecto de construcción soldada utiliza una cantidad de 1Ton de material de aporte utilizando un proceso manual SMAW, al terminar miran si la elección del proceso de soldadura fue el correcto o más bien un gran error.

Nota: La solución de este ejemplo buscará comparar los procesos SMAW y el proceso GMAW a nivel económico y ambiental.

- La eficiencia del proceso SMAW es correspondiente al 60% y posee un 12% de pérdidas en salpicadura.
- La eficiencia del proceso GMAW es correspondiente al 91% y posee un 2% de pérdidas en salpicadura.

- El 12% de una 1Ton correspondería a 120 Kg de material de aporte perdido por salpicadura y 400 Kg por eficiencia del proceso con la técnica SMAW.
- El 2% de una 1Ton correspondería a 20 Kg de material de aporte perdido por salpicadura y 90 Kg por eficiencia del con la técnica GMAW.

El valor en desperdicios afecta tanto factor económico como el ambiental, en el que se puede reflejar, tanto un ahorro o un foco de pérdida en la inversión; retomando el caso anterior un pequeño estudio económico en desperdicios y eficiencia del proceso correspondería a:

Material de aporte	Perdida de material por eficiencia del proceso	Costo de la perdida de material por eficiencia del proceso	Perdida de material por desperdicios	Costo de la perdida de material por desperdicios	Total
GMAW	90	\$ 738.000	20	\$ 164.000	\$ 902.000
SMAW	400	\$ 3.600.000	120	\$ 1.080.000	\$ 4.680.000

Tabla 27. Impacto ambiental y económico

Como se refleja en la tabla, es notable la gran diferencia entre los costos de los procesos, haciendo más conveniente la utilización de un proceso semiautomático; partiendo del ejemplo, al utilizar un proceso de soldadura como lo es el del GMAW frente a un SMAW se puede ver un ahorro de hasta 410 Kg de material de aporte, que fácilmente puede ser utilizado para otro proyecto, para ampliar más el proyecto o si se hubiese hecho esta comparación antes de comprar el material, puede ser un ahorro para los inversionistas.

CONCLUSIONES

- La junta que este estudio recomienda para la aplicación del proceso GMAW, es una junta en T con bordes cortados en plasma, desbastados con disco y pulidos con disco de zirconio generando bordes rectos; debiéndose limpiar como mínimo 1 pulgada perimetral en la junta para minimizar la generación de discontinuidades debido a la humedad del óxido ferroso.
- Se logran perfiles de filete de soldadura en junta en T con el proceso GMAW en progresión descendente que cumplen con los requisitos establecidos por el código AWS D1.1/D1.1 M: bajo el procedimiento calificado en este proyecto.
- Aunque el costo para el equipamiento de una máquina de soldar en un proceso GMAW sea más elevado que para un proceso SMAW, el dinero invertido es recuperado fácilmente en los ahorros generados por los consumibles.
- La aplicación de un proceso de soldadura GMAW en progresión descendente en comparación al proceso manual SMAW en progresión ascendente, evaluando variables de materiales, inversión y rentabilidad demuestra ser mayor en diferentes condiciones y alcances de proyectos; obteniendo porcentajes TIR siempre mayor al proceso manual (SMAW).
- En este proyecto se evidencio para el proceso GMAW progresión descendente beneficios de tiempo, productividad y calidad para el soldador, debido a que es más fácil obtener una soldadura que cumpla con los requisitos del código AWS D1.1/D1.1 M con un menor entrenamiento del personal de soldadura.
- Las propiedades mecánicas de los aceros empleados en proyectos estructurales es un factor que es tomado en cuenta desde el inicio por calculistas, inversionistas e ingenieros, buscando ahorros económicos en aceros livianos y soldables; factores que cumple el acero ASTM A572 Grado 50.
- El material de aporte comercial en el país cumple con la especificación A5.18 del código AWS clase ER70S-6 para proceso GMAW y mecánicamente se comporta igual que el material de aporte especificado en la A5.1 clase E6010 (para pase de raíz) y E7018 (para relleno y presentación) del proceso SMAW.
- El gas de protección empleado para el proyecto (CO_2) es de uso comercial en el país, de fácil consecución y económico siendo este reglamentado a su vez por la norma NTC 2462 (Transporte, rotulado de recipientes para gases a presión) y el código de soldadura estructural – acero AWS D1.1/D1.1 M:

2010 como apto para trabajos con proceso semiautomático GMAW y en aceros de porcentaje medio de carbono.

- Según la clasificación de Graville y el procedimiento de Sefferian para la clase de acero y los espesores trabajados, la temperatura de precalentamiento corresponde a la temperatura ambiente mínima 14°C y una temperatura máxima entre pases de 164°C validado por el código AWS D1.1/D1.1 M: 2010 tabla 3.2 sección 3 (Temperatura mínima de precalentamiento precalificado y de interpase), valor aplicable tanto para el proceso SMAW y GMAW.
- La parametrización para los procesos GMAW y SMAW, se desarrollaron en función del WPS, donde se consignaron para el proceso GMAW (30 datos aproximados y 27 datos aproximados) conforme al código AWS D1.1/D1.1 M: 2010 el cual registro los valores de las variables, las cuales pueden ser reproducibles para hacer escaladas en juntas de producción de soldadura metálicas soldadas.
- Como se muestra en la gráfica 6, el perfil de dureza para el pase de raíz con el proceso GMAW exhibe poca variación entre la dureza del material base, ZAC y la soldadura, evidenciando compatibilidad mecánica y metalúrgica apta para el soporte de carga de diseño, debido a que no se evidencia concentradores de esfuerzos por cambios bruscos de dureza; de la junta en referencia SMAW el cual muestra una tendencia o cambios de dureza en las zonas antes mencionadas lo cual hace que se pueda generar concentradores de esfuerzos que en condiciones de carga desarrollarían discontinuidades.
- La aplicación del proceso de soldadura GMAW en la industria colombiana viene creciendo; proyectos como este incentiva el empleo de esta técnica de soldadura, debido a que demuestran con evidencias científicas que es confiable en la unión de aceros estructurales las cuales cumplen los requisitos de código.

RECOMENDACIONES

Al realizar un proceso de soldadura GMAW, se debe considerar el ambiente de aplicación debido a que corrientes de aire pueden fácilmente disipar el gas de protección, ocasionando soldaduras defectuosas con contaminación concentrada en el aire.

Inherente al proceso de soldadura a realizar, se recomienda que el soldador cuente con experiencia previa de la actividad y sus habilidades hayan sido calificadas bajo procedimientos soportados en formatos reglamentados en el código AWS D1.1, con el fin de garantizar la calidad la soldadura.

Se recomienda para procesos de soldadura emplear los formatos (WPS, PQR, WPQ) estipulados por el código AWS D1.1, donde se podrán establecer los parámetros de calidad de la soldadura y las habilidades del soldador, teniendo en cuenta las variables obtenidas en el proceso,

El proceso GMAW posee mayor aplicación en la configuración de secciones prefabricadas siendo este un campo potencial para el proceso en cuestión; la generación de secciones estructurales en taller garantiza ahorros de espacios en campo, velocidad en la construcción de las estructuras soldadas del proyecto y mayor optimización de recursos de mano de obra.

Se recomienda que en cualquier proceso de soldadura las variables de información respecto a productividad, calidad y rendimiento sean recolectadas para hacer un debido seguimiento del desempeño del operador debido a que una soldadura de calidad depende directamente de las habilidades del soldador y de esta manera mantenerse dentro de los estándares de calidad que se rigen a nivel internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- JEFFUS LARRY, SOLDADURA PRINCIPIOS Y APLICACIONES, 5 Edición, 2009; editorial Paraninfo; Traducciones Vox Populi, S.L.; Impreso en España, 944 páginas, ISBN 976-1-40181-0467
- PERE MOLERA SOLÁ, SOLDADURA INDUSTRIAL: CLASES Y APLICACIONES, editorial Productica, Impreso en España, 128 páginas, MARCOMBO. S.A., 1992, ISBN 83-267-0875-7.
- OLEH ZABARA CZORNA, SOLDADURA Y TECNICAS AFINES, TOMO I; Diferentes procedimientos de soldadura; 1 edición 1989, 345 páginas, Librería Editorial Bellisco, MADRID.
- OLEH ZABARA CZORNA, SOLDADURA Y TECNICAS AFINES, TOMO II; Metalurgia y defectos de uniones soldadas; 1 edición 1989, 358 páginas, Librería Editorial Bellisco, MADRID.
- OLEH ZABARA CZORNA, SOLDADURA Y TECNICAS AFINES, TOMO III; Técnicas a fines; 1 edición 1989, 349 páginas, Librería Editorial Bellisco, MADRID.
- PAZOS PEINADO NORMA, TECNOLOGIA DE LOS METALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA; Caracas: Universidad Católica Andrés Bello 2005, 1 edición 2006, 318 páginas, 22 cm, ISBN 980-244-427-8.
- MANUAL DE SISTEMAS Y MATERIALES DE SOLDADURA; INDURA S.A INDUSTRIA Y COMERCIO, 88 Páginas.
- COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES (Creada por la ley 400 de 1997). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10: Diario Oficial, Edición de 444 páginas, Bogotá, D.C., viernes 26 de marzo de 2010.
- CODIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL – ACERO., AWS D1.1/D1.1 M: 2010, Editor American Welding Society. Traducción de: STRUCTURAL WELDING CODE – STEEL. Documento aprobado por el American National Standards Institute, 11 de Marzo, 2010. Edición 22^{da}.
- CSERNAK, J. C.-S. (2013). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* (Quinta ed.). Alfaomega Grupo Editor S.A.

- E. P. DE GARMO; J. T. BLACK; R. A. KOHSE; MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN, Vol. 1, 2 Edición; Editorial Reverté S.A, Edición original Macmillan Publishing Co., New York, U.S.A. ISBN 84-291-4822-1
- MA. ANGÉLICA CHAN POZO, ING. OMAR SERRANO VALEREZO, CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA, OPERADORES Y SOLDADORES EN PROCESOS SMAW Y GMAW, DE ACUERDO AL CÓDIGO AWS D1.1 PARA ACEROS ESTRUCTURALES, 15 páginas, Universidad de Chile. Sistema de Servicios de Información y Bibliotecas.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10, 444 páginas, Edición Bogotá D.C., Viernes 26 de Marzo de 2010, ISSN 0122 – 2112, Año CXLIV No. 47.663.
- P. T. HOULDCROFT, TECNOLOGIA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA, Biblioteca CEAC de Mecánica, Ediciones CEAC, 1990, 356 páginas. ISBN 84-329-3406-2-
- STAIN A. DAVID, TARASANKAR DEBROY, JHON C. LIPPOLD, HERSCHEL B. SMARTT, JOHN M. VITEK; TRENDS IN WELDING RESEARCH: Proceedings of the 7Th International Conference (Google eBook), edition ASM International, 2006, 1025 páginas. ISBN 13: 978-0-87170-842-7, ISBN 10: 0-87170-842-6, SAN: 204-7586.
- CADENA10DENOTICIASANDALGALA.COM; LA DINAMICA DEL HIERRO Y ACERO EN COLOMBIA, Construcción y Metalurgia, Industria de la Construcción Metálica, ConstruyeMETAL (23), 48 paginas, Septiembre – Octubre 2014
- PRIMICIADIARIO.COM, LA CONSTRUCCION GRAN ALIADA PARA EL DESARROLLO; Construcción y Metalurgia, Industria de la Construcción Metálica, ConstruyeMETAL (25), 52 páginas, Febrero – Marzo 2015.
- Heriberto Maury Ramírez, Enrique Esteban Niebles Núñez, Jaime Torres Salcedo. (2009). *Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados. Un enfoque metodológico y tecnológico*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Society, A. W. (1994). *Seguridad en Soldadura, Corte y Procesos Aliados*. Estados Unidos de America, 550 N.W. Lejeune Road, Miami, Florida: Sociedad Americana de Soldadura.


CIBERGRAFÍA

- *Soldadura Zelecta S.A de C.V.* (2006). Recuperado el 2014, de ER 70S-6: www.soldaduraszelecta.com/productos/er-70s6-p-243.html
- *SOLDEXA, Boletín técnico de Soldadura.* (Septiembre de 2009). Obtenido de Recuperación de Brida de Sujeción de Rueda Pelton : http://www.soldexa.com.pe/ficha_boletin/bol109_RECUPERACION_DE_BRIDA_DE_SUJECION_DE_RUEDA_PELTON.pdf
- *Harris Products Group.* (2015). Recuperado el 2014, de ER70S-6 (GMAW) MIG: <http://www.harrisproductsgroup.com/es/Products/Alloys/Welding/Mild-Steel/ER70S-6-GMAW-MIG.aspx>
- *Acero Hot Rolled, Productos para la Industria.* (s.f.). Recuperado el 2014, de Metaza, una firma de acero: http://www.metaza.com.co/media/acero_hot_rolled.pdf
- *Capítulo 1, Electrodo para soldar aceros al carbono (AWS A5.1) .* (s.f.). Recuperado el 2014, de WestArco: <http://www.westarco.com/westarco/sp/productos/consumibles/electrodos/upload/1-Electrodos-para-soldar-Aceros-al-Carbono.pdf>
- *Electrodos Baja Aleación, AW 7018-A1.* (s.f.). Recuperado el 2015, de ElectrodoSINFRA: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/hojas_tecnicas/especiales/baja_aleacion/AW7018-A1.pdf
- *Guía de Métodos Alternativos para Determinar el Precalentamiento en la Soldadura de Aceros Estructurales.* (s.f.). Recuperado el 2015, de ANEXO IV, Proyecto de Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero: <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/304/AnexoIV.pdf>
- *INDURA.* (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura.* Recuperado el Mayo de 2015, de http://www.indura.net/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf
- *INFRA WELDING WIRE 70S-6, Microalambre Solido.* (s.f.). Recuperado el 2015, de ElectrodoSINFRA: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/hojas_tecnicas/alambres_soldar/mw_s6.pdf
- *Ingemecánica.* (2015). *Características Mecánicas del Acero.* Obtenido de Ingemecánica: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

- Metaza, U. f. (s.f.). *Productos Industria, Aceros Hot Rolled*. Recuperado el 2015, de <http://www.metaza.com.co/productos-industria/>
- *Procesos de Manufactura, Unidad 4*. (s.f.). Obtenido de Ensamble por Soldadura: <http://procesosmanufacturau4.weebly.com/ensamble-por-soldadura.html>
- Profesor Ingeniero Alexis Tejedor De León, P. (24 de Abril de 2013). Estimación de los Costos de la Soldadura Eléctrica. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net/atejedor/costos-en-la-soldadura>
- *Soldadura de la Clasificación A.W.S.* (s.f.). Recuperado el 2015, de Clasificación de la Soldadura, Taller de Estructuras Metálicas: http://www.multiserviciosoc.com/taller/soldadura/ele_clasificacion.html
- *TC Tecnicontrol, Una empresa Bureau Veritas*. (s.f.). Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de Ensayos No Destructivos (END) Convencionales: <http://portal.tc.com.co/tecnicontrol/ensayos-no-destructivos/tradicionales>
- *WA.ALLOY CO.* (s.f.). Obtenido de Washington Alloy Co.: www.weldingwire.com
- HELM BANK, Proyección económica a 2020; Actualizado Mayo 07 de 2014: https://www.grupohelm.com/sites/default/files/Resumen%20proyecciones_may14.pdf

ANEXOS

Analysis Report		08/14/14 10:48:53 AM				page 1	
Method: STALTCAR		Sample Name: ALFONSO FATARRYO			Operator: CMB		
Run Time: 08/14/14 10:38:33							
Comment: MUESTRA ACERO TRIANG.		* GRUPO SOLDADURA *					
Mode: CONC		Corr. Factor: 1					
Elem	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Avg	.1521	.1634	.5901	<.0010	.0062	.0463	.0559
Elem	Ni	Cu	V	Nb			
Avg	.0643	.1981	.0214	<.0010			



Anexo 1. Prueba de espectrometría, metal base ASTM A572 grado 50

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICION 3F PROGRESION DESCENDENTE COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.							
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/>				PRECALIFICADO <input type="checkbox"/>			
CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/>				REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/>			
IDENTIFICACIÓN WPS 1A REVISIÓN N° <u>01</u> FECHA <u>09 de Febrero de 2015</u> CONDUcido POR: <u>Ing. Alfonso Patarroyo P.</u> PQR SOPORTE DE LA CALIFICACIÓN N° (s) PQR <u>1</u>							
PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>							
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLE DE LA JUNTA			
TIPO: UN LADO <input checked="" type="checkbox"/> AMBOS LADOS <input checked="" type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DEL RESPALDO <u>N.A.</u> ABERTURA DE RAÍZ (r) <u>0</u> DIMENSIÓN DE LA CARA DE LA RAÍZ (f) <u>-</u> ÁNGULO DEL BISEL <u>-</u> RADIO (J, U) <u>N.A.</u> SANEADO DE RAÍZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MÉTODO PARA EL SANEADO DE RAÍZ <u>-</u>							
METAL BASE				POSICIÓN			
ESPECIFICACIÓN <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A 572</u> ESPESORES <u>9 mm</u> BISEL (t) <u>-</u> FILETE <u>3 mm y mayores</u> DIÁMETROS (TUBERÍA) <u>N.A.</u>				POSICIÓN DEL BISEL <u>-</u> FILETE <u>3F</u> PROGRESIÓN VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESCENDENTE</u> <input type="checkbox"/>			
METAL DE APORTE				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
ESPECIFICACIÓN AWS <u>A 5.18</u> CLASIFICACIÓN AWS <u>E6010 - E7018</u>				TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW) CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>			
PROTECCIÓN				TECNICA			
FUNDENTE <u>-</u> GAS <u>-</u> COMPOSICIÓN <u>-</u> CLASIFICACIÓN ELECTRODO - FUNDENTE <u>-</u>				CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/> MÚLTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) <u>simple</u> <u>MÚLTIPLE</u> NÚMERO DE ELECTRODOS <u>1</u> DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS <u>LONGITUDINAL N.A.</u> <u>LATERAL N.A.</u> <u>ÁNGULO N.A.</u>			
PRECALENTAMIENTO				MARTILLO			
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MÍNIMA <u>23°C</u> TEMPERATURA ENTRE PASES MÍNIMA <u>13°C</u> MÁXIMA <u>15°C</u>				NO <u>NO</u> LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECÁNICA</u>			
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.							
AUTORIZADO POR <u>Ing. Alfonso Patarroyo</u> FECHA <u>09 de Febrero de 2015</u> FIRMA: _____ CONDUcido POR <u>Ing. Alfonso Patarroyo</u> FECHA <u>09 de Febrero de 2015</u> FIRMA: _____							
Este procedimiento puede variar de acuerdo al la secuencia de fabricación, composición, tamaño del pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANSI/AWS D1.1 . Structural Welding Code.							
NOTA 1. MÁXIMO TAMAÑO DE FILTE CON PASE SENCILLO 8mm							

Anexo 2. Formato WPS proceso SMAW

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA WPS SI....									
PRECALIFICADO (...) CALIFICADO POR LA PRUEBA (...)									
REGISTRO DE PROCESO DE CALIFICACION PQR SI....									
PQR									
NOMBRE DE LA COMPAÑÍA		-		IDENTIFICACIÓN #	1	FECHA	09/02/2015	POR	Alfonso Patarroyo
PROCESO(S) DE SOLDADURA		SMAW		REVISIÓN	X	AUTORIZADO POR	-	FECHA	09/02/2015
SOPORTE PQR No.		1		TIPO MANUAL	X	SEMIAUTOMÁTICO			
DISEÑO DE JUNTA USADO		Filete		MECANIZADO		AUTOMÁTICO			
TIPO		T		POSICIÓN					
SENCILLO		X	DOBLE SOLDADURA	POSICIÓN DEL CORDON					
RESPALDO		-		FILETE					
MATERIAL DE RESPALDO		-		PROGRESIÓN VERTICAL					
APERTURA DE RAIZ		-	MEDICIÓN CARA DE	SUBIENDO					
ÁNGULO DEL CORDÓN		-	RADIO J - U	X					
RANURA TRASERA		-		BAJANDO					
MÉTODO		-		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
METALES BASE		-		CORTO CIRCUITO					
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL		AWS A572		X					
TIPO O GRADO		GRADO 50		GLOBULAR					
ESPESOR		CORDÓN	FILETE	AC					
DIÁMETRO (PROBETA)		1" (2,54 cm)		DCEP					
METAL DE RELLENO		X		X					
ESPECIFICACIÓN AWS		E6010 - E7018		CC					
CLASIFICACIÓN AWS		A5.18		CV					
PROTECCIÓN		-		FUENTE DE ALIMENTACIÓN					
FLUJO		GAS		OTRO					
FLUJO ELECTRODO		COMPOSICIÓN		MEDIDA					
TAMAÑO BOQUILLA DE GAS		CAUDAL		TIPO					
PRECALENTAMIENTO		-		-					
TEMPERATURA MIN. PRECALENTAMIENTO		23		-					
TEMPERATURA DE PASO		MÍNIMA	131	MÁXIMO	151	-			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
CAPAS DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE RELLENO		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	DETALLES DE JUNTA	
		CLASE	DIÁMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPERIOS Y VELOCIDAD DE ALIMENTACION DE CABLE				
1	SMAW	E6010	8 mm	(+/-)	70 - 115	23	0,24 M/min	Raiz	
2	SMAW	E7018	8 mm	(+/-)	100 - 145	25	0,22 M/min	Presentación	
REGISTRO PRECEDIMIENTO DE CALIFICACION (PQR) #									
PRUEBA DE RESULTADOS									
ESPECIMEN No.	ANCHO	ESPESOR	AREA	ULTIMA CARGA A LA TENSION, LB	ULTIMA UNIDAD DE FATIGA, PSI	CARACTERÍSTICA DE LA FALLA Y UBICACIÓN			
-	-	-	-	-	-	-			
PRUEBA GUIADA DE DOBLES									
ESPECIMEN No.	TIPO DE DOBLEZ	RESULTADOS				REMARKADOS			
-	-	-				-			
INSPECCION VISUAL									
APARIENCIA	Aceptable			EXÁMEN RADIOGRÁFICO Y ULTRASÓNICO		RT REPORTE No.	-	RESULTADO	-
REBAJA	-					UT REPORTE No.	-	RESULTADO	-
POROSIDADES TUBULAR	Ninguno			RESULTADOS DE LA PRUEBA SOLDADURA EN FILETE					
CONVEXIDAD	-			MÍNIMA MEDIDA DE PASO MÚLTIPLE MACROETCH		MÁXIMA MEDIDA DE PASO MACROETCH			
FECHA DE PRUEBA	10 de Febrero de 2015			1.		2.	3.	1.	2.
TESTIGO				TODAS LAS PRUEBAS DE TENSION DE LOS METALES SOLDADOS					
				FUERZA DE TENSION, PSI		-			
				PUNTO DE CEDENCIA		-			
				ELONGACION EN 2 in %		-			
LABORATORIO DE PRUEBA No.		-							
Detalle de Junta									
NOMBRE DEL SOLDADOR		Ing. Alfonso Patarroyo				RELOJ No.	-	MARCA No.	1
PRUEBA CONDUCTIDA POR		Ing. Alfonso Patarroyo				LABORATORIO	Empresa Sager - Fronius		
						NUMERO DE PRUEBA	2		
						PER	-		
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparados, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.									
						FIRMA	Ing. Alfonso Patarroyo		
						POR	-		
						TITULO	-		
						FECHA	10 de Febrero de 2015		

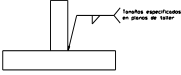
Anexo 3. Formato PQR proceso SMAW

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

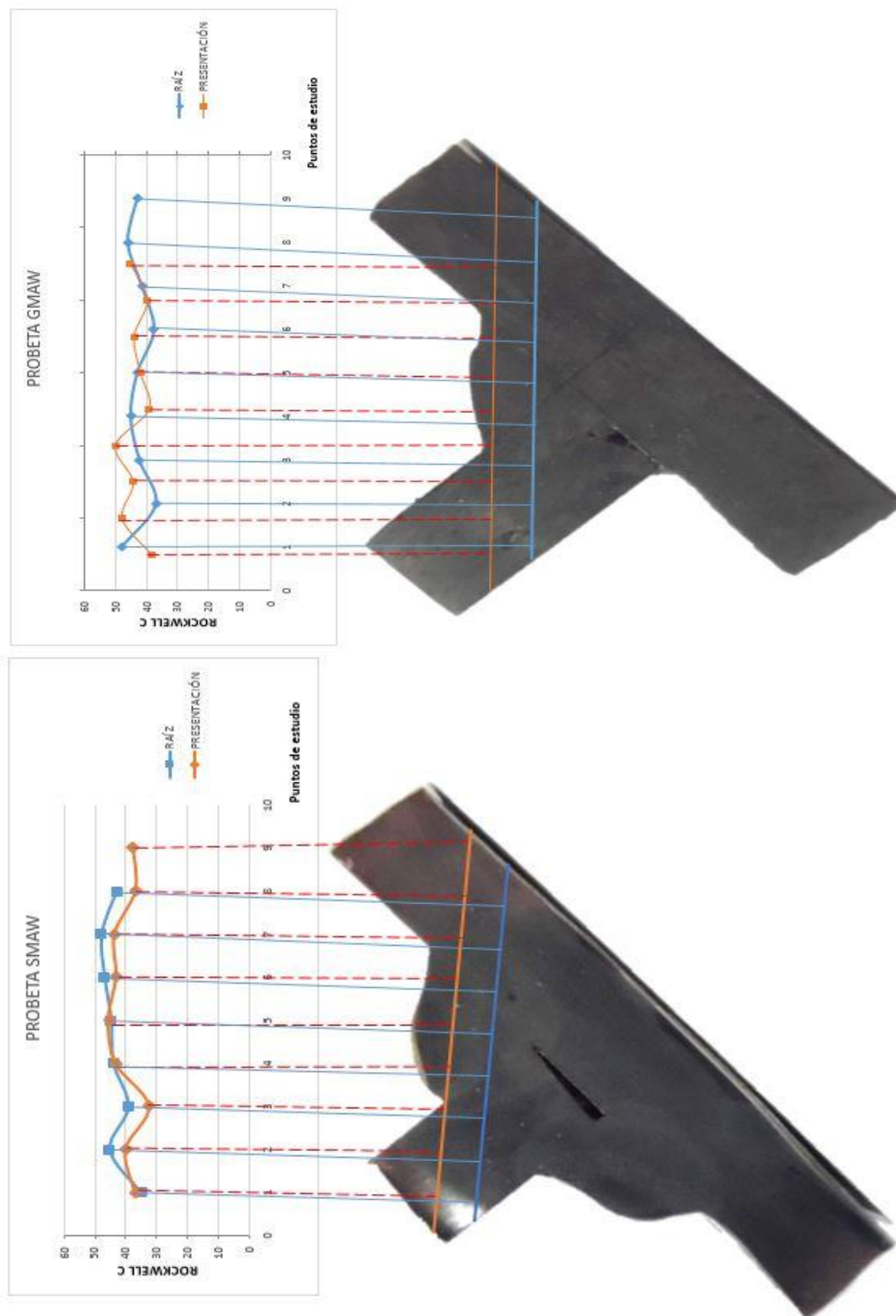
ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICION 3F PROGRESION DESCENDENTE COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.							
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS), <input checked="" type="checkbox"/>				PRECALIFICADO <input type="checkbox"/>			
				CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/>			
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/>							
IDENTIFICACIÓN		WPS 2A					
REVISIÓN N° 01		FECHA 09 de Febrero de 2015		CONDUCIDO POR: Ing. Alfonso Patarroyo P.			
PQR SOPORTE DE LA CALIFICACIÓN N° (s)				PQR 2			
PROCESO DE SOLDADURA: GMAW TIPO: SEMIAUTOMÁTICO							
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLE DE LA JUNTA			
TIPO: UN LADO <input checked="" type="checkbox"/> AMBOS LADOS <input type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DEL RESPALDO N.A. ABERTURA DE RAÍZ (r) 0 DIMENSIÓN DE LA CARA DE LA RAÍZ (f) - ÁNGULO DEL BISEL - RADIO (J, U) NA SANEADO DE RAÍZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MÉTODO PARA EL SANEADO DE RAÍZ							
METAL BASE				POSICIÓN			
ESPECIFICACIÓN ASTM TIPO O GRADO ASTM A 572 ESPESORES BISEL (f) FILETE 3 mm y mayores DIAMETROS (TUBERÍA) N.A.				POSICIÓN DEL BISEL - FILETE 3F PROGRESIÓN VERTICAL ASCENDENTE <input type="checkbox"/> DESCENDENTE <input checked="" type="checkbox"/>			
METAL DE APORTE				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
ESPECIFICACIÓN AWS A5.18 CLASIFICACIÓN AWS ER70S-6				TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW) CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>			
PROTECCIÓN				TECNICA			
FUNDENTE - GAS CO2 COMPOSICIÓN 100% CLASIFICACIÓN ELECTRODO - FUNDENTE -				CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/> MÚLTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) simpl. MÚLTIPLE NÚMERO DE ELECTRODOS 1 DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS LONGITUDINAL N.A. LATERAL 15 cm ÁNGULO 90° MARTILLO NO LIMPIEZA ENTRE PASES GRATA MANUAL O MECÁNICA			
PRECALENTAMIENTO							
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MÍNIMA 21°C TEMPERATURA ENTRE PASES MÍNIMA 108°C MÁXIMA 153°C							
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparados, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.							
AUTORIZADO POR				FECHA		FIRMA:	
CONDUCIDO POR Ing. Alfonso Patarroyo				FECHA 09 de Febrero de 2015		FIRMA:	
Este procedimiento puede variar de acuerdo al la secuencia de fabricación, composición, tamaño del pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANSI/AWS D1.1 . Structural Welding Code.							
NOTA 1. MÁXIMO TAMAÑO DE FILTE CON PASE SENCILLO 8mm							

Anexo 4. Formato WPS proceso GMAW

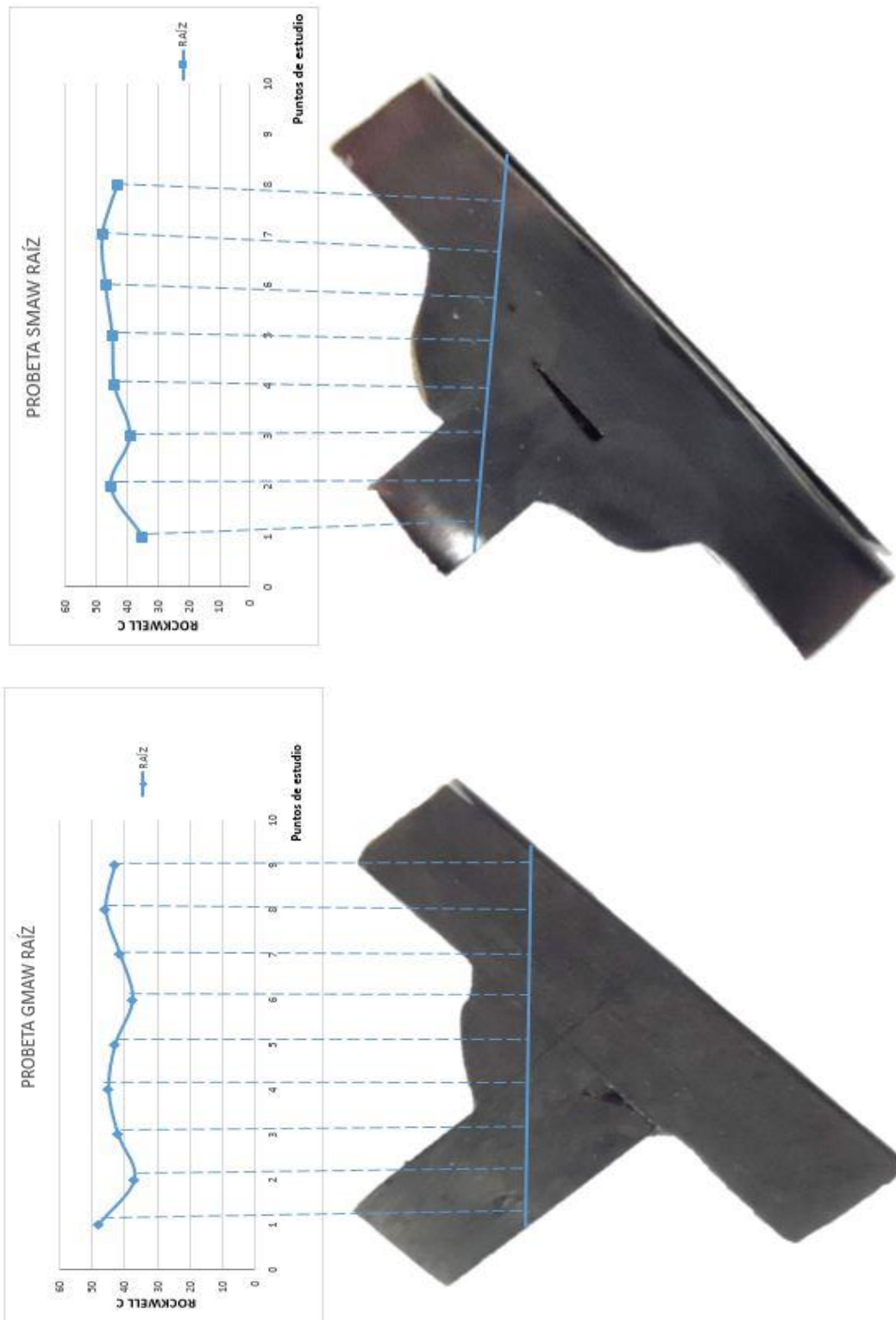
ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO GMAW EN JUNTA EN T, POSICIÓN 3F PROGRESIÓN DESCENDENTE, COMPARADO CON EL PROCESO SMAW PROGRESIÓN ASCENDENTE.

ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA WPS SI....											
PRECALIFICADO (...) CALIFICADO POR LA PRUEBA (...)											
REGISTRO DE PROCESO DE CALIFICACION POR SI....											
PQR											
NOMBRE DE LA COMPAÑIA		-		IDENTIFICACIÓN #		1		FECHA		09/02/2015	
PROCESO(S) DE SOLDADURA		GMAW		REVISIÓN		X		POR		Alfonso Patarroyo	
SOPORTE PQR No.		2		AUTORIZADO POR		-		FECHA		09/02/2015	
DISEÑO DE JUNTA USADO		Filete		TIPO MANUAL		SEMI AUTOMÁTICO		X			
TIPO		T		MECANIZADO		AUTOMÁTICO					
SENCILLO		X		DOBLE SOLDADURA							
RESPALDO		-		POSICIÓN		3F					
MATERIAL DE RESPALDO		-		POSICIÓN DEL CORDON		FILETE					
APERTURA DE RAIZ		-		PROGRESIÓN VERTICAL		SUBIENDO				BAJANDO X	
ÁNGULO DEL CORDON		-		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS							
RANURA TRASERA		-		MODO DE TRANSFERENCIA		GLOBULAR				X	
MÉTODO		-		CORRIENTE		AC				DCEN	
METALES BASE		AWS A572		FUENTE DE ALIMENTACIÓN		DCEP		X		PULSO	
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL		GRADO 50		OTRO		CC		X		CV	
TIPO O GRADO		CORDÓN		ELECTRODO DE TUGSTENO GTAW		MEDIDA		-		TIPO	
ESPESOR		FILETE		TÉCNICA							
DIÁMETRO (PROBETA)		1" (2,54 cm)		TIRA O CORDON		Cordon					
METAL DE RELLENO		X		MULTIPUNTO O MONOPUNTO (POR LADO)		Multipunto					
ESPECIFICACIÓN AWS		ER70S-6		NUMERO DE ELECTRODOS							
CLASIFICACIÓN AWS		A5.18		DISTANCIA DEL ELECTRODO		LONGITUD				16 cm	
PROTECCIÓN		IP 23		DISTANCIA DE TRABAJO DEL TUBO DE CONTACTO		LATERAL				-	
FLUJO		GAS		INCLINACIÓN		ÁNGULO				-	
FLUJO ELECTRODO		11,7 M/min		INTERPASEO DE LIMPIEZA						15 cm	
TAMAÑO BOQUILLA DE GAS		2 cm		TRATAMIENTO TÉRMICO DE POST-SOLDADURA						9"	
PRECALENTAMIENTO				TEMPERATURA						-	
TEMPERATURA MIN. PRECALENTAMIENTO		21		TIEMPO						-	
TEMPERATURA DE PASO		MÍNIMA		108		MÁXIMO		153			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA											
CAPAS DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE RELLENO		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	DETALLES DE JUNTA			
		CLASE	DIÁMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPERIOS Y VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE CABLE						
1	GMAW	ER70S-6	8 mm	(+/-)	187 - 11,7	26	0,33 M/min	Raiz			
2	GMAW	ER70S-6	8 mm	(+/-)	204 - 10,8	23,8	0,36 M/min	Presentación			
REGISTRO PRECEDIMIENTO DE CALIFICACION (PQR) #											
PRUEBA DE RESULTADOS											
ESPECIMEN No.	ANCHO	ESPESOR	AREA	ULTIMA CARGA A LA TENSION, LB	ULTIMA UNIDAD DE FATIGA, PSI	CARACTERÍSTICA DE LA FALLA Y UBICACIÓN					
-	-	-	-	-	-	-					
PRUEBA GUIADA DE DOBLES											
ESPECIMEN No.	TIPO DE DOBLEZ	RESULTADOS				REMARKADOS					
-	-	-				-					
INSPECCION VISUAL											
APARIENCIA	Aceptable				EXÁMEN RADIOGRÁFICO Y ULTRASONICO	RT REPORTE No.	-	RESULTADO	-		
REBAJA	-					UT REPORTE No.	-	RESULTADO	-		
POROSIDADES TUBULAR	Ninguno				RESULTADOS DE LA PRUEBA SOLDADURA EN FILETE						
CONVEXIDAD	-				MÍNIMA MEDIDA DE PASO MÚLTIPLE MACROETCH			MÁXIMA MEDIDA DE PASO MACROETCH			
FECHA DE PRUEBA	10 de Febrero de 2015				1.	2.	3.	1.	2.	3.	
TESTIGO					TODAS LAS PRUEBAS DE TENSION DE LOS METALES SOLDADOS						
					FUERZA DE TENSION, PSI			-			
					PUNTO DE CEDENCIA			-			
					ELONGACION EN 2 in %			-			
LABORATORIO DE PRUEBA No.				-							
Detalle de Junta											
NOMBRE DEL SOLDADOR		Ing. Alfonso Patarroyo				RELOJ No.	-	MARCA No.	1		
PRUEBA CONDUCTA POR		Ing. Alfonso Patarroyo				LABORATORIO	Empresa Sager - Fronius				
						NUMERO DE PRUEBA	2				
						PER	-				
Nosotros, Los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparados, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2014) CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL.											
FIRMA						Ing. Alfonso Patarroyo					
POR						-					
TITULO						-					
FECHA						10 de Febrero de 2015					

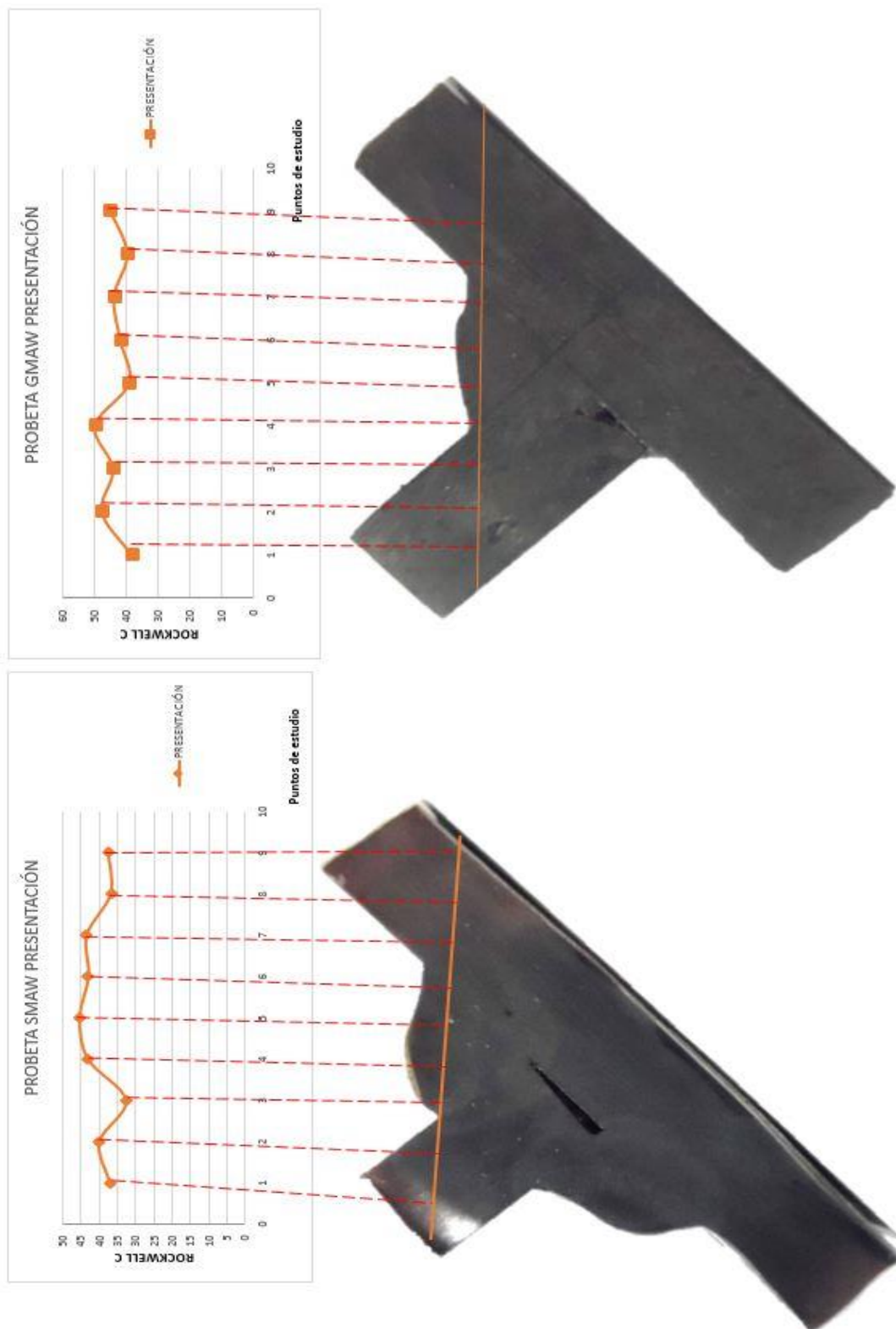
Anexo 5. Formato PQR proceso GMAW



Anexo 6. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pases de (Presentación – Raíz)



Anexo 7. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pase de (Raíz)



Anexo 8. Análisis de Dureza probetas GMAW –SMAW pase de (presentación)



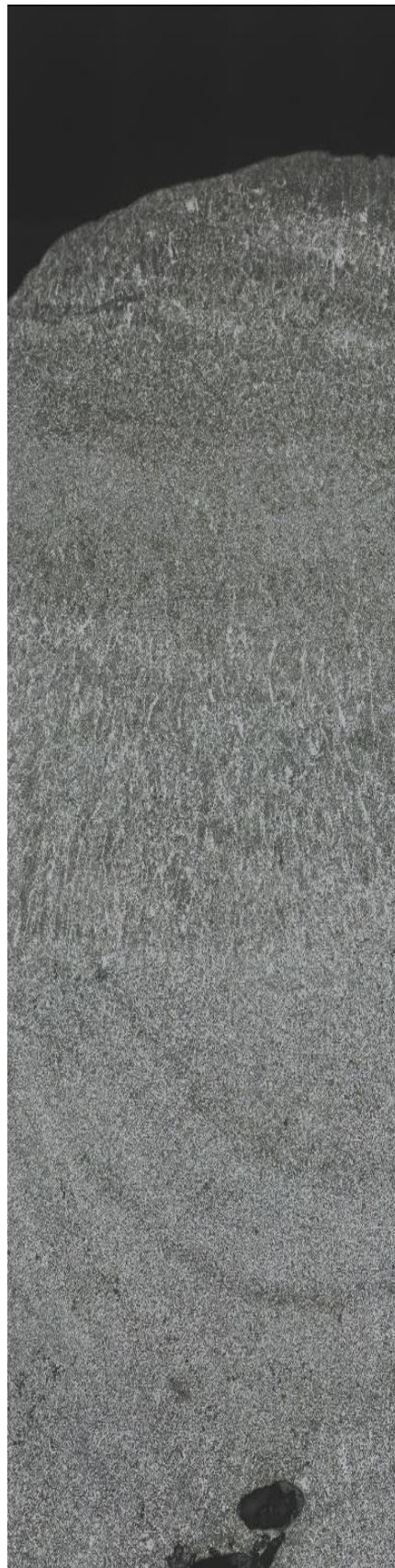
Anexo 9. Evidencia metalográfica proceso SMAW



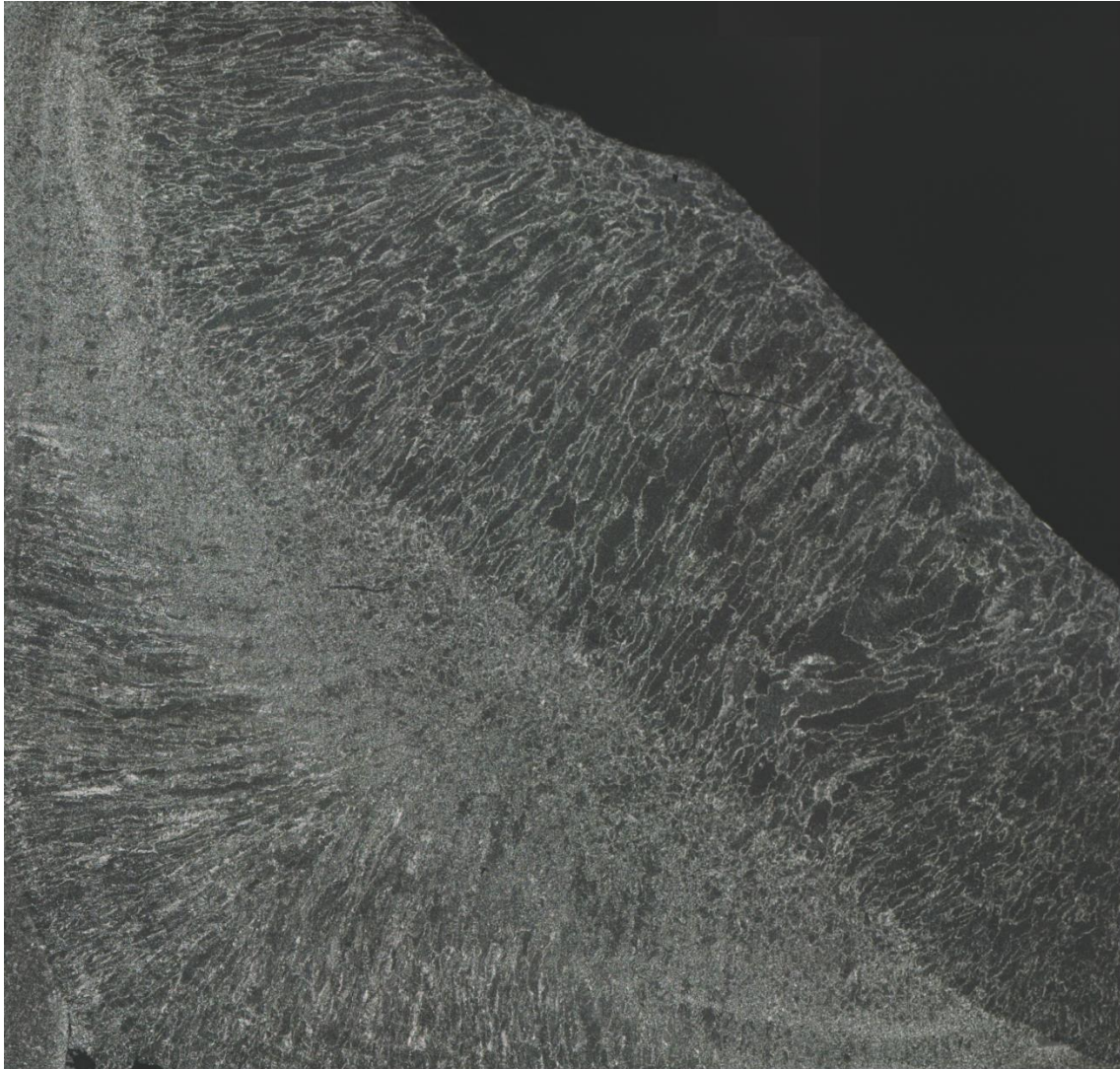
Anexo 10. Evidencia metalográfica proceso GMAW



Anexo 11. Evidencia metalográfica proceso GMAW , panorámica (metal base, raíz)



Anexo 12. Evidencia metalográfica proceso SMAW , panorámica (raíz, presentación)



Anexo 13. Evidencia metalográfica proceso GMAW, panorámica pase (presentación, raíz), evidencia de ferrita columnar



Anexo 14. Evidencia metalográfica proceso SMAW, interacción metal base, y pase de raíz



Anexo 15. Evidencia metalográfica proceso GMAW, panorámica (metal base, pase raíz, pase presentación).



Anexo 16. Evidencia metalográfica proceso SMAW, panorámica (metal base, pase raíz, pase presentación).